

时钟晶振的实时校准

作者: *Kantesh Kudapali*
Microchip Technology Inc.

引言

精度接近 20 ppm 的 32.768 kHz 晶振常用于时钟和计时应用，但 20 ppm 对应着 ± 0.65536 Hz 的频率偏移，或者说每月 51.8 秒的巨大误差。这种误差仅与晶振的个体差异有关。其他重要的误差源包括温度、老化、元件选择及布线。

在本应用笔记中，我们将讨论与低成本时钟晶振——用在实时时钟及日历（Real-Time Clock and Calendar, RTCC）应用中——关联的误差以及克服这些误差的方法。我们还将讨论在 Microchip 实时时钟及日历电路中独特的内置校准功能，它将在运行时最小化这些关联的误差。

晶振误差源

横向切割（X-Cut）晶振是在（RTCC）电路中最经常使用的类型。这类晶振并不昂贵，容易获得，同时还具有相当的精度。

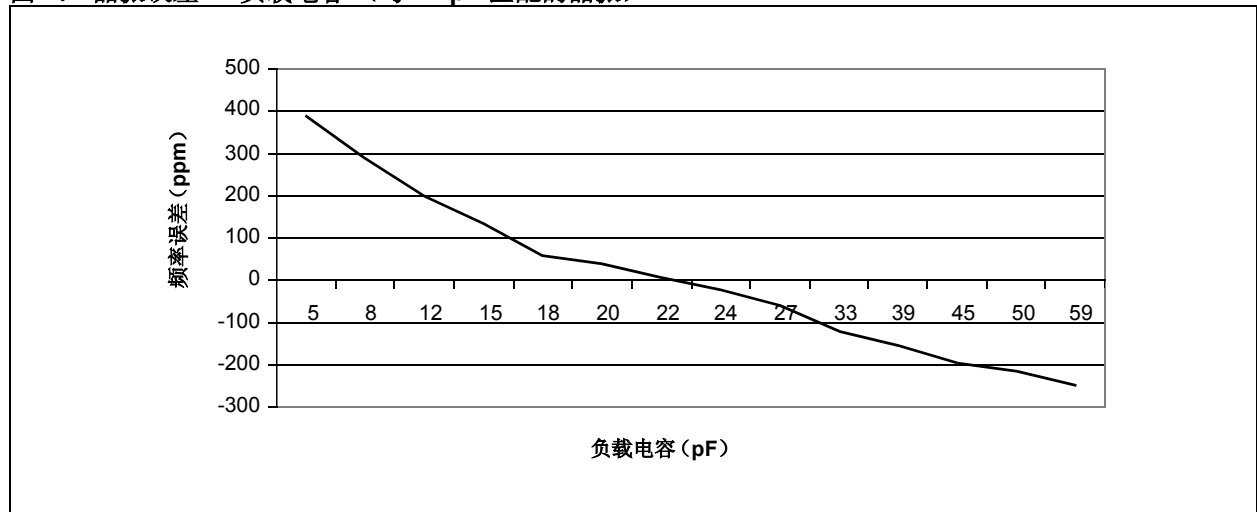
导致晶振源中振荡器误差的最常见因素如下：

- 机械振动
- 负载电容
- 温度
- 老化

为了最小化晶振误差，应避免机械振动。如果可能，我们应使所有振动源远离晶振。潜在的振动源包括蜂鸣器、扬声器、电机，等等。

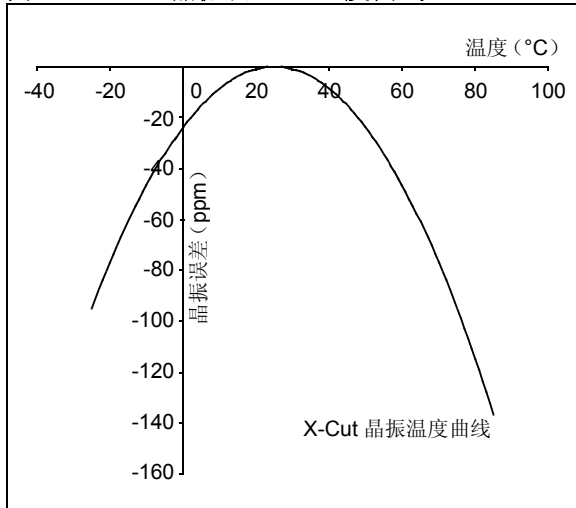
要使谐振发生在正确的频率，晶振应加载其规定的负载电容，即与晶振单元一道使用的电容值。负载电容是晶振制造商规定的参数，通常以 pF 为单位。匹配不当的负载电容可能导致高达 400 ppm 的误差，如图 1 所示。重要的是要考虑由于 PCB 走线和晶振的其他引线所引起的寄生电容。确定最优电容值不在本应用笔记的讨论范围之内，不过，更多信息可见 Microchip 网站（www.microchip.com）上的 AN826 “Crystal Oscillator Basics and Crystal Selection for rPIC™ and PICmicro® Devices”、AN849 “Basic PICmicro® Oscillator Design”、AN943 “Practical PICmicro® Oscillator Analysis and Design” 以及 AN949 “Making Your Oscillator Work”。

图 1：晶振误差 — 负载电容（与 22 pF 匹配的晶振）



温度影响晶振频率，且对晶振误差的影响很大。许多晶振在设计时围绕的中心是接近室温下的误差变化。图 2 所示是典型的 32.768 kHz X-Cut 晶振误差—温度曲线。从图中我们可以看到，即便温度变化小到 20°C，典型的晶振误差也将翻倍。

图 2: 晶振误差—温度曲线



所有元件的特性都随着其老化程度而改变。尽管经常被忽视，但元件老化程度可能对晶振误差有显著影响，可高达 50 ppm。

温度及老化导致的误差，使系统设计人员面临严峻考验。即便可以使用电容匹配得当的高品质晶振，且布线最佳，也不能解决温度或老化问题。这是因为，在设计过程中，这些因素是未知的，从而必须在运行时执行期间进行处理。

由于老化或温度变化而引起的计时误差对频率的影响通常极为缓慢，它不会突然改变晶振频率。如果能够搞清楚老化或温度变化的影响，就可以在软件中调整时间。但这将可能使 RTCC 例程复杂化，因为要在正确的时刻施加这样的调整，需要大计数器。

为了应对上述误差源导致的漂移，Microchip 的 PIC24F RTCC 提供了自动校准功能。它有一个软件可写的寄存器，能够补偿高达 260 ppm 的晶振误差，这足以应对由于负载电容不匹配、温度变化等引起的典型晶振误差，而不会在运行时增加明显的软件开销。这是独特的功能，因为大部分现货供应的 RTCC 解决方案不支持运行时校准。

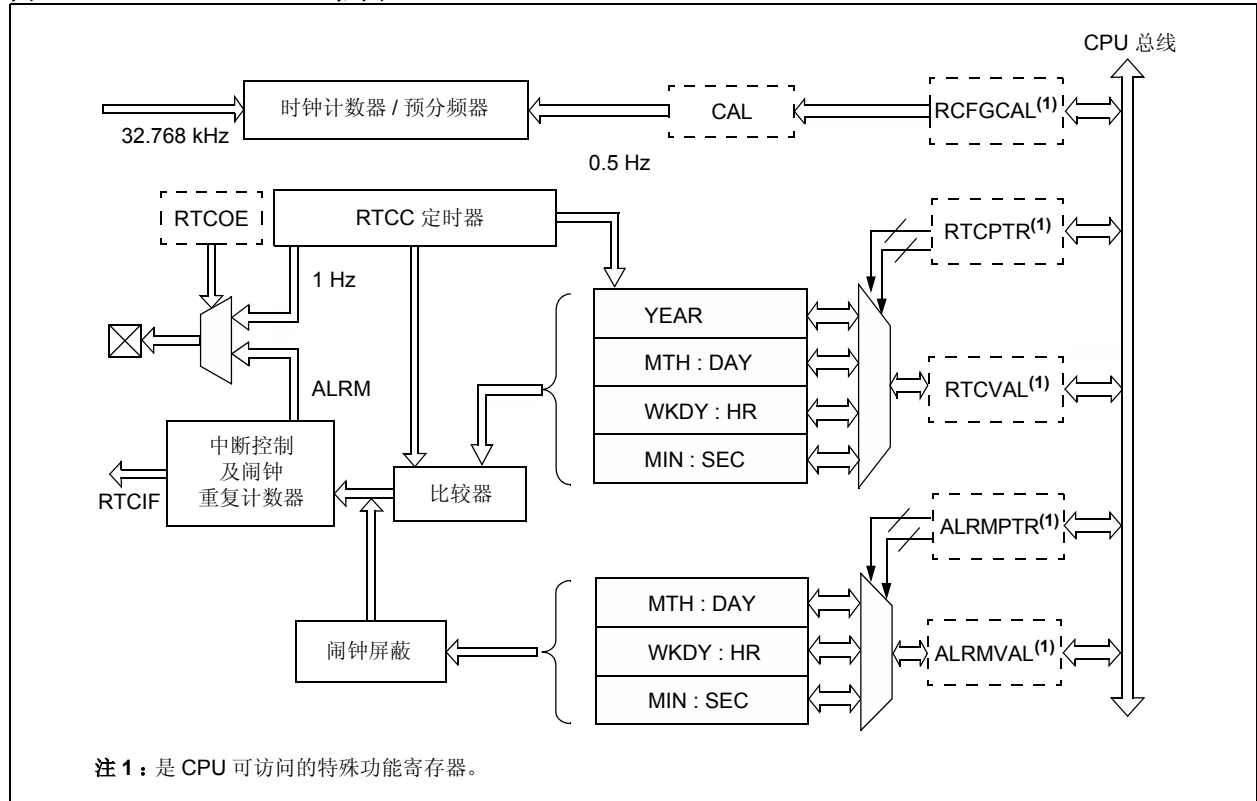
图 3 中的 RTCC 框图图示了 PIC24F RTCC 外设的各种功能特性。

RTCC 模块由下列功能特性构成：

- 硬件实时时钟及日历
- 2000 至 2099 的年历，带闰年校正
- 提供时间——小时、分钟以及秒，使用 24 小时格式
- 提供日历——星期、日期、月和年
- 针对长期电池供电进行了优化
- 提供可配置的闹钟
- 闹钟可配置为半秒、1 秒、10 秒、1 分、10 分、1 小时、1 天、1 周或 1 月
 - 使用递减计数器进行闹钟重复
 - 无限重复的闹钟——钟鸣
- 在输出端口上提供秒脉冲输出，如果已配置的话
- 提供在每次闹钟事件时向 CPU 发送中断请求
- 32.768 kHz 时钟晶振频率的用户校准，具有周期性自动调整
 - 校准后误差小于每月 ± 2.59 秒，可校准误差高达每月 ± 11.23 分
 - 校准最高 260 ppm 的晶振误差

注： 完整的功能特性，请参见具体器件的数据手册。

图 3: MICROCHIP RTCC 框图



计算 PIC24F RTCC 的晶振校准常数

为了最小化计时误差，Microchip 引入了独创的思路：根据装入到校准寄存器 RCFGAL 中的误差值，自动修正 RTCC 计数器值。寄存器的值用来每分钟自动调整晶振误差，不会产生软件开销。

为了确定正确的校准值，应找到每分钟的误差时钟脉冲数，并把这个值存放在 RCFGAL 寄存器的低半部分

中。值以 8 位有符号数格式存放。外设把这个值乘以四，然后每分钟把它从 RTCC 定时器中加上或者减去。

使用公式 1，根据晶振误差（ppm）率，计算正确的校准值。

在公式 1 中，误差时钟 / 分是一个有符号值，从而根据其正负号来对 RCFGAL 值进行加减。

公式 1: 计算晶振误差率，得到 RCFGAL 值

$$\text{误差时钟 / 分} = (\text{理想频率} - \text{实际频率}) \times 60/4$$

注：值乘以 60，得到每分钟的误差时钟，然后除以 4，这是因为在校准寄存器中每次计数的分辨率是 2^2 。

确定晶振误差校准值的方法

要校准实时时钟计数器，第一步是确定与振荡器关联的误差。确定误差的方法很多，本文档重点讨论两类误差估计和校准方法。

方法 1 – 基于查找表的途径

前面讨论过，温度和负载电容是导致振荡器误差的重要来源。可以假定负载电容导致的误差是恒定的，而温度导致的误差是可变的。基于这个假设，我们可以生成温度 — 晶振误差查找表。然后，可在固定时间间隔更新 RCFGAL 值，或者在温度发生变化时进行更新。

图 4 和图 5 所示是开发基于查找表的晶振校准软件的典型流程图。

从 TC 曲线生成查找表

考虑图 2 所示的 X-Cut 时钟晶振 TC 曲线，曲线由公式 2 产生。

例 1A、例 1B 和例 2 说明了如何计算校准值，附录 A: “查找表”给出了完整的查找表，针对的温度范围从 -25°C 至 85°C，考虑的是 10 ppm 的负载电容失配情形。

注： 32.768 kHz X-Cut 时钟晶振的查找表，请参见附录 A: “查找表”。

公式 2: 温度 — 晶振误差

$$\Delta f/f_0 \text{ (ppm)} = -0.038(T - T_0)^2 \pm 10$$

其中 $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ， T 是环境温度

公式 3: 总晶振误差

$$\text{RCFGAL} = -((\text{ppm}/1000000 \text{ 表示的总晶振误差}) \times (32.768 \text{ kHz 时每分钟时钟数})/4)$$

例 1A: 计算 -30 ppm 晶振误差的 RCFGAL 值

如果在 40°C 时晶振有 -30 ppm 的误差，且存在由负载电容失配引起的 10 ppm 误差，则校准值将是：

$$\begin{aligned} \text{RCFGAL 值} &= -((-30 + 10)/1000000) \times 1966080/4 \\ &= 9.8304 \\ &= 10 \\ &= 0x0A \end{aligned}$$

例 1B: 计算 -80 ppm 晶振误差的 RCFGAL 值

如果在 50°C 时晶振有 -80 ppm 误差，且由于负载电容失配导致的误差为 10 ppm，则校准值将是：

$$\begin{aligned} \text{RCFGAL 值} &= -((-80 + 10)/1000000) \times 1966080/4 \\ &= 34.4064 \\ &= 34 \\ &= 0x22 \end{aligned}$$

例 2: 计算 +80 ppm 晶振误差的 RCFGAL 值

如果晶振有 -20 ppm 误差，且负载电容失配导致的误差是 +100 ppm，则时钟源的总误差将是 80 ppm (-20 + 100)，于是校准值将是：

$$\begin{aligned} \text{RCFGAL 值} &= -(80/1000000) \times 1966080/4 \\ &= -39.3216 \\ &= -39 \\ &= 0xD9 \end{aligned}$$

图 4： 示例应用的流程图：使用基于查找表的晶振校准方法

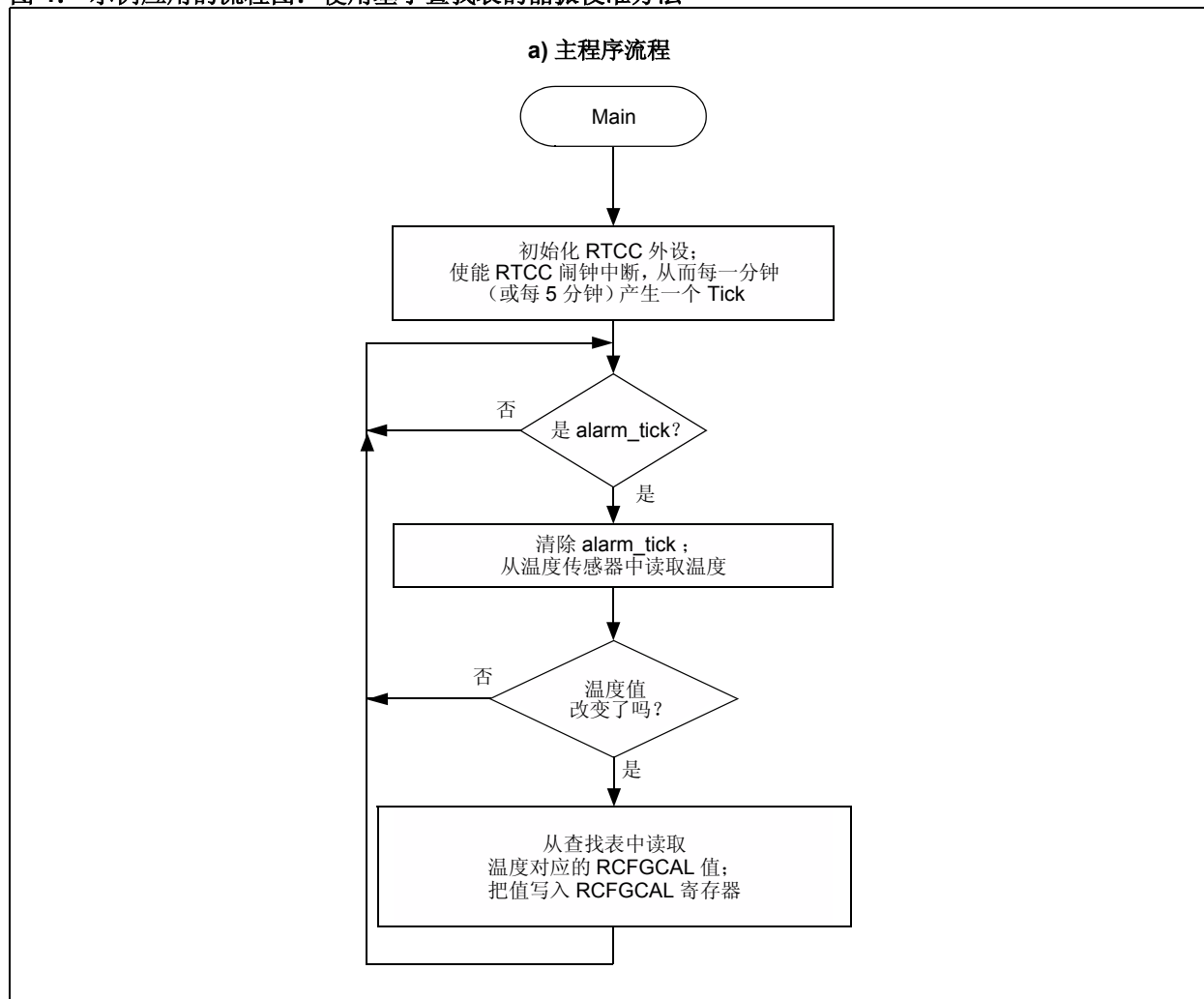
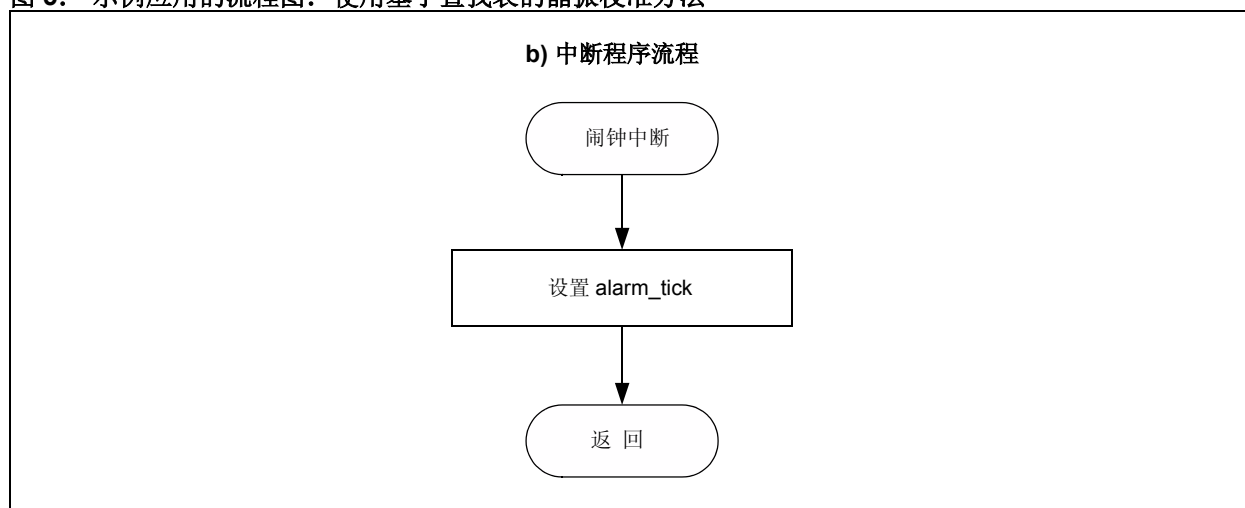


图 5： 示例应用的流程图：使用基于查找表的晶振校准方法



AN1155

方法 2 – 基于参考系统时钟的途径

方法 1 使用附录 A: “查找表” 中给出的事先计算好的表。此表没有考虑诸如老化、器件与器件之间的差异性或者环境变化这样的因素。

在嵌入式系统中大部分高频晶振是 AT-Cut (条形切割) 晶振, 与 X-Cut 晶振相比较, AT-Cut 晶振的精度更高

(0.1 ppm 至 4 ppm) 且温度漂移更小。通过比较 RTCC 值与基于这些高频晶振的定时器值, 可以最小化效应 / 误差, 公式 4 说明了两种时钟源在一秒钟之内的误差。

公式 4: 一秒内的误差

$$1 \text{ 秒内的误差} = \text{每秒的误差时钟} \times \text{时钟周期}$$

例 3: 计算由于 20 ppm 以及 1 ppm 晶振误差导致的时间误差

计算 32.768 kHz 晶振以及 8.00 MHz 晶振在一秒钟之内的误差 / 秒, 误差分别是 20 ppm 和 1 ppm:

$$\begin{aligned} 32.768 \text{ kHz 晶振, } 20 \text{ ppm, 它在一秒内的误差是} &= (20 \times 32768 / 1000,000) \times 1 / 32768 \\ &= 0.00002 \text{ 秒} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8.00 \text{ MHz 晶振, } 1 \text{ ppm, 它在一秒内的误差是} &= (1 \times 8000000 / 1000,000) \times 1 / 8000000 \\ &= 0.000001 \text{ 秒} \end{aligned}$$

根据上述计算，显然，通过比较低频晶振与高频稳定的系统振荡器，使用软件例程可改善频率较低晶振的精度。使用这种方法校准晶振的所需步骤如下：

1. 选择系统频率，系统频率应是 RTCC 定时器频率的整数倍。这将简化计算，减少由于定时器异步操作导致的误差。
2. 配置可用的定时器，使用系统时钟作为时钟源，选择约 2 秒钟溢出对应的预分频值。
3. 初始化 RTCC。
4. 使能每秒钟的 RTCC 中断。
5. 在第一个中断中，清零定时器计数。
6. 在后续中断中，清除 RTCC 中断并读取定时器值。
7. 使用下面的公式，计算晶振频率误差：
误差计数 = 32768 - 一秒内累积的定时器计数
8. 使用下面的公式，把频率误差转换为校准值：
校准值 = 误差计数 / 4
9. 计算 1 分钟的平均校准值。把计算得到的平均值载入 RCFGAL 寄存器，每分钟载入一次。
10. 需要的话，重复 5 至 10，补偿系统温度变化，通常在 1 至 5 分钟之间。

通过这种方法，我们可以克服方法 1 的所有局限；不过，这需要高度稳定且精确的系统时钟和定时器。

公式 5：计算校准值

让我们假设主振荡器的频率是 16.777 MHz，定时器预分频值是 256：

$$\begin{aligned}
 FTMR &= \frac{FCY}{\text{预分频值}} \\
 &= \frac{FOSC/2}{\text{预分频值}} \\
 &= \frac{16.777/2}{\text{预分频值}} \\
 &= \frac{8.388608}{256} \\
 FTMR &= 32.768 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

使用这个配置，每秒钟定时器应该有 32,768 次计数。如果晶振的误差是 0 ppm，计数的任何变化都将导致计数误差。

计数误差 = 32768 - 定时器计数值

RFGCAL 值 = 计数误差 / 4

图 6 和图 7 给出了使用基于参考系统时钟的晶振校准方法来实现软件的典型流程图。

图 6：示例应用的流程图：使用基于参考系统时钟的晶振校准方法

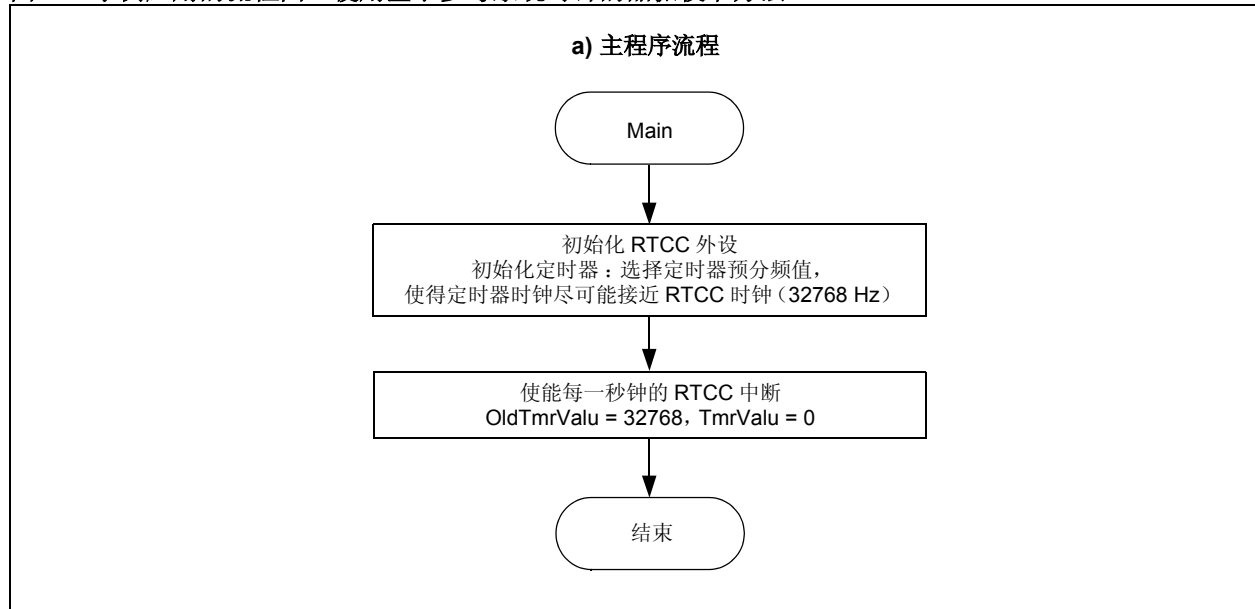
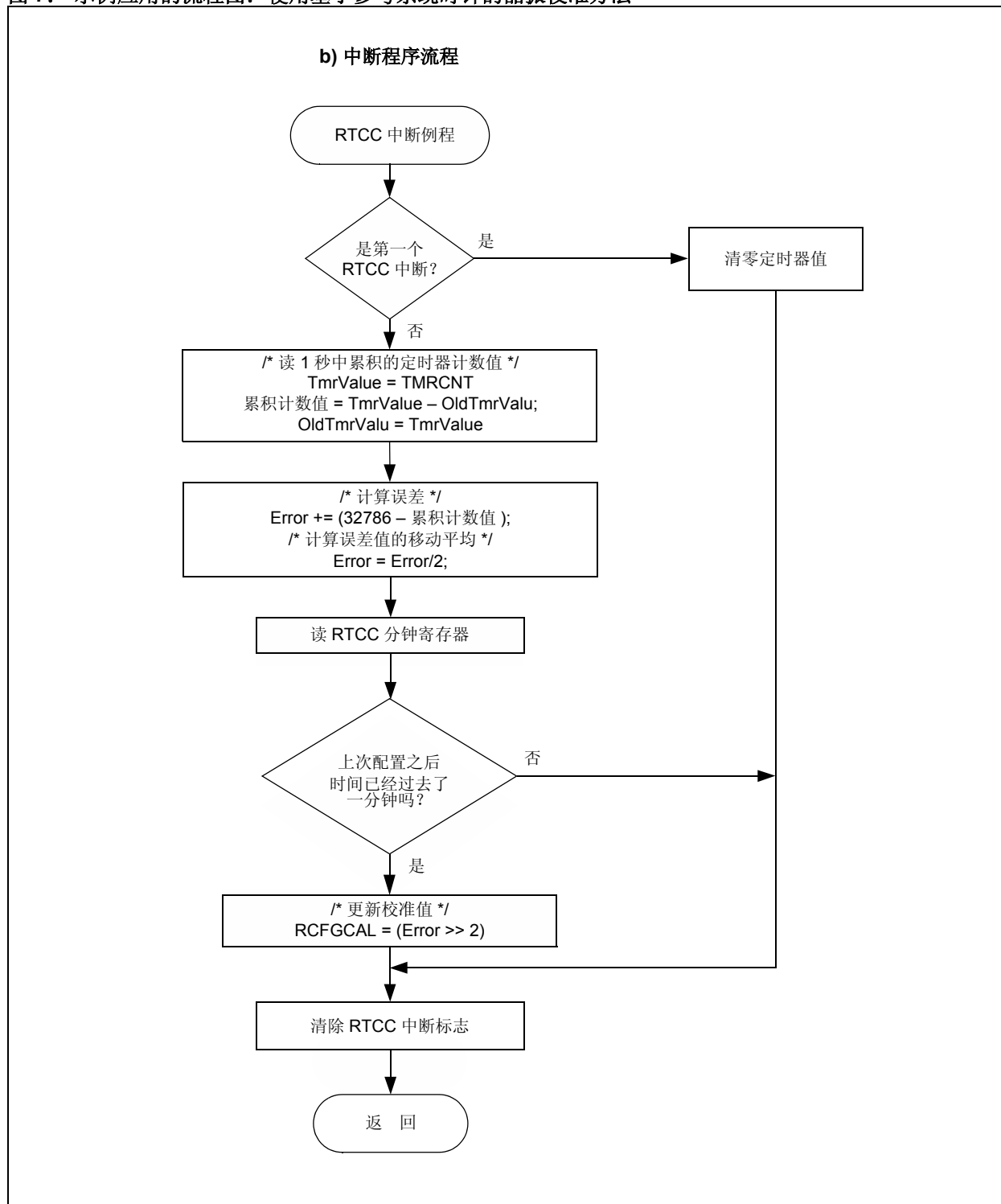


图 7: 示例应用的流程图: 使用基于参考系统时钟的晶振校准方法



结论

如果没有运行时误差校准，使用廉价的时钟晶振来设计实时时钟及日历将充满挑战。现在，针对这一问题，Microchip 提供了简便且廉价的解决方案。使用 Microchip 的 RTCC，您将能够实现误差小于 ± 2.59 秒 / 月的实时时钟。

参考文献

- Microchip 的《PIC24FJ128GA010 系列数据手册》(DS39747A_CN)
- Norman Bijano, “*Choosing the Right Crystal for Your Oscillator*”, EDN, 1998 年 2 月, pp 66-70

AN1155

附录 A: 查找表

表 A-1: 32.768kHz X-CUT 时钟晶振的温度 — 校准值查找表

温度 (°C)	X-Cut 晶振 特性曲线 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2$	X-Cut 晶振特性曲线, 10 ppm 负载电容失配 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2 \pm 10$	校准值 = $-((\text{ppm}/1000000$ 表 示的总晶振误差) $\times (32.768$ kHz 时每分钟时钟数)/4)	RCFGCAL 值 舍入至最接近的整数
-25	-95	-85	41.78	42
-24	-91.238	-81.238	39.93	40
-23	-87.552	-77.552	38.12	38
-22	-83.942	-73.942	36.34	36
-21	-80.408	-70.408	34.61	35
-20	-76.95	-66.95	32.91	33
-19	-73.568	-63.568	31.24	31
-18	-70.262	-60.262	29.62	30
-17	-67.032	-57.032	28.03	28
-16	-63.878	-53.878	26.48	26
-15	-60.8	-50.8	24.97	25
-14	-57.798	-47.798	23.49	23
-13	-54.872	-44.872	22.06	22
-12	-52.022	-42.022	20.65	21
-11	-49.248	-39.248	19.29	19
-10	-46.55	-36.55	17.97	18
-9	-43.928	-33.928	16.68	17
-8	-41.382	-31.382	15.42	15
-7	-38.912	-28.912	14.21	14
-6	-36.518	-26.518	13.03	13
-5	-34.2	-24.2	11.89	12
-4	-31.958	-21.958	10.79	11
-3	-29.792	-19.792	9.73	10
-2	-27.702	-17.702	8.7	9
-1	-25.688	-15.688	7.71	8
0	-23.75	-13.75	6.76	7
1	-21.888	-11.888	5.84	6
2	-20.102	-10.102	4.97	5
3	-18.392	-8.392	4.12	4
4	-16.758	-6.758	3.32	3
5	-15.2	-5.2	2.56	3
6	-13.718	-3.718	1.83	2
7	-12.312	-2.312	1.14	1
8	-10.982	-0.982	0.48	0
9	-9.728	0.272	-0.13	0
10	-8.55	1.45	-0.71	-1
11	-7.448	2.552	-1.25	-1
12	-6.422	3.578	-1.76	-2
13	-5.472	4.528	-2.23	-2
14	-4.598	5.402	-2.66	-3
15	-3.8	6.2	-3.05	-3
16	-3.078	6.922	-3.4	-3

表 A-1: 32.768kHz X-CUT 时钟晶振的温度 — 校准值查找表 (续)

温度 (°C)	X-Cut 晶振 特性曲线 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2$	X-Cut 晶振特性曲线, 10 ppm 负载电容失配 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2 \pm 10$	校准值 = $-((\text{ppm}/1000000 \text{ 表}$ 示的总晶振误差) \times (32.768 kHz 时每分钟时钟数)/4)	RCFGCAL 值 舍入至最近的整数
17	-2.432	7.568	-3.72	-4
18	-1.862	8.138	-4	-4
19	-1.368	8.632	-4.24	-4
20	-0.95	9.05	-4.45	-4
21	-0.608	9.392	-4.62	-5
22	-0.342	9.658	-4.75	-5
23	-0.152	9.848	-4.84	-5
24	-0.038	9.962	-4.9	-5
25	0	10	-4.92	-5
26	-0.038	9.962	-4.9	-5
27	-0.152	9.848	-4.84	-5
28	-0.342	9.658	-4.75	-5
29	-0.608	9.392	-4.62	-5
30	-0.95	9.05	-4.45	-4
31	-1.368	8.632	-4.24	-4
32	-1.862	8.138	-4	-4
33	-2.432	7.568	-3.72	-4
34	-3.078	6.922	-3.4	-3
35	-3.8	6.2	-3.05	-3
36	-4.598	5.402	-2.66	-3
37	-5.472	4.528	-2.23	-2
38	-6.422	3.578	-1.76	-2
39	-7.448	2.552	-1.25	-1
40	-8.55	1.45	-0.71	-1
41	-9.728	0.272	-0.13	0
42	-10.982	-0.982	0.48	0
43	-12.312	-2.312	1.14	1
44	-13.718	-3.718	1.83	2
45	-15.2	-5.2	2.56	3
46	-16.758	-6.758	3.32	3
47	-18.392	-8.392	4.12	4
48	-20.102	-10.102	4.97	5
49	-21.888	-11.888	5.84	6
50	-23.75	-13.75	6.76	7
51	-25.688	-15.688	7.71	8
52	-27.702	-17.702	8.7	9
53	-29.792	-19.792	9.73	10
54	-31.958	-21.958	10.79	11
55	-34.2	-24.2	11.89	12
56	-36.518	-26.518	13.03	13
57	-38.912	-28.912	14.21	14
58	-41.382	-31.382	15.42	15
59	-43.928	-33.928	16.68	17
60	-46.55	-36.55	17.97	18
61	-49.248	-39.248	19.29	19

AN1155

表 A-1: 32.768kHz X-CUT 时钟晶振的温度 — 校准值查找表 (续)

温度 (°C)	X-Cut 晶振 特性曲线 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2$	X-Cut 晶振特性曲线, 10 ppm 负载电容失配 $\Delta f/f_0$ (ppm) = $-0.038(T - T_0)^2 \pm 10$	校准值 = $-((\text{ppm}/1000000$ 表 示的总晶振误差) \times (32.768 kHz 时每分钟时钟数)/4)	RCFGCAL 值 舍入至最接近的整数
62	-52.022	-42.022	20.65	21
63	-54.872	-44.872	22.06	22
64	-57.798	-47.798	23.49	23
65	-60.8	-50.8	24.97	25
66	-63.878	-53.878	26.48	26
67	-67.032	-57.032	28.03	28
68	-70.262	-60.262	29.62	30
69	-73.568	-63.568	31.24	31
70	-76.95	-66.95	32.91	33
71	-80.408	-70.408	34.61	35
72	-83.942	-73.942	36.34	36
73	-87.552	-77.552	38.12	38
74	-91.238	-81.238	39.93	40
75	-95	-85	41.78	42
76	-98.838	-88.838	43.67	44
77	-102.752	-92.752	45.59	46
78	-106.742	-96.742	47.55	48
79	-110.808	-100.808	49.55	50
80	-114.95	-104.95	51.59	52
81	-119.168	-109.168	53.66	54
82	-123.462	-113.462	55.77	56
83	-127.832	-117.832	57.92	58
84	-132.278	-122.278	60.1	60
85	-136.8	-126.8	62.32	62

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 safest 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。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、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Octopus、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PIC³² 徽标、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2009, Microchip Technology Inc. 版权所有。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

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-16949:2002 认证。公司在 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。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。



MICROCHIP

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://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

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: 216-447-0464

Fax: 216-447-0643

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

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

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

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
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: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

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

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
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: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

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

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

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

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

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

亚太地区

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: 91-80-3090-4080

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

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

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 - 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

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

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

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820

03/26/09