

---

---

## 针对仅闪存器件的 EEPROM 仿真

---

---

### 简介

---

从 8 位 MCU 移植到 32 位 MCU 时，最大的障碍之一是大多数 32 位 MCU 中缺少真正的 EEPROM 存储器。一些软件仿真层可解决该问题。不过，尽管这些仿真层可提供 EEPROM 接口的无缝仿真，但都存在明显的缺点（例如底层闪存耗损过度），并且如果在写入过程中断电，可能会导致数据完全丢失。

本文档介绍了一种更好的方法。这种方法只需对应用流程进行少量更改，但却可以实现可靠的 EEPROM 仿真，并且 MCU 闪存的耗损最小。

---

## 目录

---

简介.....	1
1. 问题.....	3
2. 解决方案.....	4
3. 实际应用注意事项.....	6
Microchip 网站.....	7
产品变更通知服务.....	7
客户支持.....	7
Microchip 器件代码保护功能.....	7
法律声明.....	7
商标.....	8
质量管理体系.....	8
全球销售及服务网点.....	9

---

---

## 1. 问题

鉴于大多数现代 32 位 MCU 都缺少 EEPROM，因此惟一可用于存储变量数据的位置是闪存。

闪存的缺点是无法按照 EEPROM 存储器的通用方法以单个字节方式进行擦除或写入。闪存只能以较大的块方式进行擦除和写入。典型的擦除块大小可以是 256 至 8192 字节，典型的写入块大小是 64 至 512 字节。一些闪存支持部分写入，在这种模式下，只要有位从“1”（擦除状态）变为“0”（编程状态），擦除的块就可以多次写入。即使闪存支持部分写入，通常也会有其他限制。在一些情况下，在必要的擦除之前可以执行的部分写入次数受到限制。在另一些情况下，写入操作必须同时满足特定的对齐和大小要求。

此外，分配给数据存储的闪存通常与应用程序代码位于同一闪存阵列中。这导致在写入数据时需要暂停应用程序的执行。借助本文建议的实现方式，用户可以定义将要出现该块的点。另一方面，MCU 制造商也意识到了这个问题，因此许多现代 MCU 中都有一个单独的数据闪存段可用于实现该用途。在某些情况下，主闪存阵列拆分为多个独立的存储区，可以对这些存储区执行写入操作，而其他存储区则可用于读取和代码执行。

## 2. 解决方案

建议的解决方案是将所有变量与几个服务成员一起长期存储在一个结构中。该结构可以映射到闪存中的地址，也可以复制到 SRAM 中，以加快访问和支持累积更新。

以下代码给出了数据布局的典型结构。第一部分所示为原始结构，第二部分则是除原始版本外的两次版本更新后的布局。

```
-----  
typedef struct  
{  
    uint32_t    counter;  
    uint8_t     version;  
    // 用户值  
    uint32_t    crc;  
} EepromLayout_v1;  
  
typedef struct  
{  
    uint32_t    counter;  
    uint8_t     version;  
    // 版本 1 用户值  
    uint32_t    crc1;  
    // 版本 2 用户值  
    uint32_t    crc2;  
    // 版本 3 用户值  
    uint32_t    crc3;  
} EepromLayout_v3;  
-----
```

版本字段用于标识结构的版本。对于没有固件更新、实现固定布局的应用，可忽略版本字段。

计数器字段是单调递增的计数器。最高计数器值与 CRC 字段一起标识结构的最新有效版本。实际上，32 位值永远不会溢出，因为计数器仅在写入时递增，并且闪存耐写入次数受到限制。

CRC 计算结构的大小可以根据版本字段推断出来，也可以在结构的特定部分中明确定义。

这种方法的稳健性得益于为结构的多个副本分配存储空间。如果闪存支持部分写入，则可以将多个副本分配到同一擦除块中，但必须注意至少分配两个擦除块。同时必须至少分配两个副本。这将确保在必须擦除其中一个块时，电源中断不会导致数据损坏。

分配多个副本的额外优势是无需增加成本即可实现耗损均衡。

为每个副本分配的数据大小必须足以覆盖当前结构大小。同时，其大小还必须足以覆盖可能的未来扩展和新版本。可以通过固件更新将分配大小更新到新版本，但过程可能很复杂。

在初始化时，应用程序必须迭代结构的所有可能副本。在每次迭代中，它必须计算出当前副本的 CRC 并将计数器字段与目前为止的最佳候选项进行比较。具有较高计数器和版本值以及有效 CRC 值的副本是最新有效数据，必须装入 SRAM 中供应用程序使用。

如果找不到有效的副本，则应用程序必须将所有字段初始化为其默认值。这只会发生在新编程的器件上。

应用程序可能会检测到副本有效，但是结构的版本低于应用程序当前支持的版本。这将发生在固件更新（更改数据布局）后的首次启动时。在这种情况下，旧版本的数据部分应按原样装入，新字段应初始化为默认值。版本字段应更新为最新值，之后，结构将在下次写入时以新版本格式保存。

支持固件更新的应用程序必须支持结构的所有先前版本，这样才能以旧格式装入数据。如果支持固件降级，则应用程序必须保留数据结构的布局以与旧版本兼容。这包括保留和更新所有先前版本的 CRC 值。如果无法进行固件降级，则只能将一个 CRC 用于结构的最新版本。

如果支持固件降级，则版本字段用于指示最新版本。固件降级后，应用程序可能会在版本字段中看到不受支持的版本集。在这种情况下，必须假定版本是由最新固件设置的，并且仅将 CRC 用作数据有效性的指标。

将数据保存到闪存时，下一个待写入条目的索引的计算公式为  $(C + 1) \% N$ ，其中 C 是当前有效条目的索引，N 是分配为永久存储的条目总数。

保存结构后，如果新索引指向另一个擦除块，则应用程序可以选择提前擦除下一个块。这会将擦除操作移至上一次写入的时间点，从而加快下一次写入的速度。

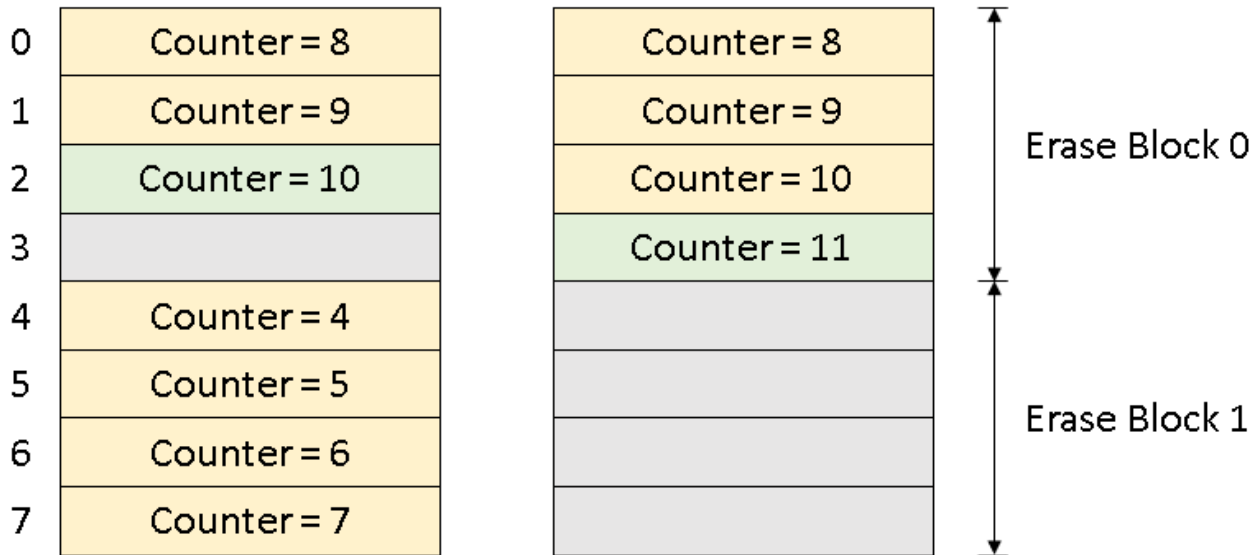
通常，写操作的速度远快于擦除操作。提前擦除块可为应用程序留出足够的时间来检测电源故障并保存当前未保存的数据。

初始化之后，应用程序不可假定下一个块已在上一次写入操作后正确擦除，因为擦除操作可能因电源故障而中断。在这种情况下，即使闪存看似已被擦除，应用程序也必须始终执行擦除。

### 3. 实际应用注意事项

下图所示为典型的存储器布局。存储器布局中分配了八个副本，即每个擦除块四个副本。在第一种情况下，索引为 2（计数器 = 10）的条目是最新副本。数据更新后，索引为 3（计数器 = 11）的条目将是最新副本。同时，擦除块“1”会被擦除，因为它将包含下一个写入的条目。所有条目均以循环方式使用，以确保闪存损耗均匀。

图 3-1. 存储器布局



为了限制闪存擦除周期数，实际写入操作必须由应用程序启动。可以在更新每个字段时启动，也可以在同时更新几个字段后启动。此外，应用程序可以选择在设置的超时后定期保存更新的值。同一超时周期内对数据的任何更改都将同时写入，从而节省闪存擦除周期。

在 EEPROM 访问很少且大多数为只读访问的情况下（例如，当 EEPROM 用于存储校准数据时），从闪存直接访问数据而不在 SRAM 中保留副本可能更有意义。在这种情况下，每次需要保存数据时，都必须在 SRAM 中创建数据结构的临时副本。

在器件的单独数据段中分配可进行写访问的永久存储器而主闪存可用于执行代码时，必须特别小心。在这种情况下，代码执行与闪存的写入和擦除操作并行进行，从而可将 EEPROM 仿真对代码执行的影响降至最低。不过，EEPROM 仿真代码必须一直跟踪写入过程中发生更改的字段。数据保存代码可以创建正在保存的数据的副本，也可以在闪存访问时阻止更新操作的执行。

---

## 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。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 <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 <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

---

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，不得暗中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、PackerTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、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。

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、Vite、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、BlueSky、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、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、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 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。

© 2020, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5429-8

## 质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 <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">http://www.microchip.com/support</a> 网址: <a href="http://www.microchip.com">http://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: 45-4450-2828 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			