

STM32F40x/STM32F41x 微控制器中的 EEPROM 仿真

简介

在工业应用中经常使用 **EEPROM**（电可擦除可编程只读存储器）来存储可更新的数据。**EEPROM** 是用在复杂系统（例如计算机）和其它电子器件中的一种永久（非易失）存储器存储系统，它可以在电源故障时存储和保留少量数据。

为降低成本，外部 **EEPROM** 可以用 **STM32F40x/STM32F41x** 的以下功能之一替代：

- 片内 4 KB 备份 **SRAM**
- 片内 **Flash**，具有特定软件算法

STM32F40x/STM32F41x 具有 4 KB 备份 **SRAM**，当主 **VDD** 电源断电时，可通过 **VBAT** 电源为该 **SRAM** 供电。

借助 **CPU** 频率下的高速访问（通常在用电池供电的应用中）优势，只要 **VBAT** 存在，此备份 **SRAM** 就可以用作内部 **EEPROM**（不带任何附加软件）。

但是，当备份 **SRAM** 用于其它目的并且/或者应用不使用 **VBAT** 电源时，片内 **Flash**（具有特定软件算法）可以用于仿真 **EEPROM** 存储器。

本应用笔记介绍了使用 **STM32F40x/STM32F41x** 器件的片上 **Flash** 通过仿真 **EEPROM** 机制来取代独立 **EEPROM** 的软件解决方案。

要实现这种仿真，至少要使用 **Flash** 中的两个扇区。**EEPROM** 仿真代码会在扇区填满后，以对用户透明的方式交换数据。

此应用笔记随附的 **EEPROM** 仿真驱动程序满足以下要求：

- 提供简单 **API** 的轻量级实现，这种 **API** 由初始化、读写数据和降低存储器占用量三种功能构成。
- 简单且可轻松更新的代码模型
- 对用户透明的清除和内部数据管理
- 后台扇区擦除
- 至少使用两个 **Flash** 扇区，如果需要进行耗损均衡，则需要更多

要仿真的 **EEPROM** 大小可在扇区大小的限制范围内随意调整，并允许 **EEPROM** 使用扇区的最大空间。

目录

1	外部 EEPROM 与仿真 EEPROM 之间的主要差异	5
1.1	写访问时间上的差异	6
1.2	擦除时间上的差异	6
1.3	写方法上的相似之处	6
2	实现 EEPROM 仿真	7
2.1	原理	7
2.2	使用实例：应用示例	9
2.3	EEPROM 仿真软件说明	10
2.4	EEPROM 仿真内存占用量	12
2.5	EEPROM 仿真时间	14
3	嵌入式应用的相关信息	15
3.1	数据粒度管理	15
3.2	耗损均衡：增加 Flash 可擦写次数	15
3.2.1	耗损均衡实现示例	15
3.3	断电时的页头恢复	16
3.4	循环性能和页分配	16
3.4.1	循环性能	16
3.4.2	Flash 页分配	17
3.5	实时注意事项	18
4	版本历史	19

表格索引

表 1. 外部 EEPROM 与仿真 EEPROM 之间的差异..... 5

表 2. 仿真页可能的状态和相应操作..... 8

表 3. STM32F40x/STM32F41x Flash 扇区..... 8

表 4. API 定义..... 11

表 5. EEPROM 仿真机制的内存占用量..... 12

表 6. 系统时钟为 168 MHz 的 EEPROM 仿真时间..... 14

表 7. Flash 编程函数..... 15

表 8. 应用设计..... 18

表 9. 文档版本历史..... 19

图片索引

图 1. 在 page0 与 page1 之间切换的头状态 7

图 2. EEPROM 变量格式..... 9

图 3. 数据更新流程 10

图 4. WriteVariable 流程图 12

图 5. EEPROM 仿真的 Flash 占用情况（机制和存储） 13

图 6. 四页的页交换机制（耗损均衡） 16



1 外部 EEPROM 与仿真 EEPROM 之间的主要差异

EEPROM 是许多需要非易失性数据存储的嵌入式应用的关键组件，它在运行期间以字节或字为粒度。

这些系统中使用的微控制器通常是基于嵌入式 Flash 存储器的。为了避免使用这些组件、节约 PCB 空间并降低系统成本，可使用 STM32F41x Flash 代替外部 EEPROM，模拟代码和数据的存储。

但是与 Flash 不同的是，外部 EEPROM 在重写数据之前并不需要执行擦除操作来释放空间。要将数据存储到嵌入式 Flash 中，需要执行特殊的软件管理。

这种仿真软件机制由许多因素决定，包括 EEPROM 可靠性、所使用的 Flash 的架构以及产品要求等。

对于使用相同 Flash 技术的任何微控制器（不局限于 STM32F40x/STM32F41x 系列产品），嵌入式 Flash 和外部串行 EEPROM 之间的主要差异完全一致。表 1 中汇总了这些主要差异。

表 1. 外部 EEPROM 与仿真 EEPROM 之间的差异

特性	外部 EEPROM (例如, M24C64: I ² C 串行访问 EEPROM)	使用片上 Flash 仿真的 EEPROM	使用片上备份 SRAM 仿真的 EEPROM ⁽¹⁾
写时间	– 5 ms 内的随机字节写入。字编程时间 = 20 ms – 5 ms 内的页 (32 字节) 写入。字编程时间 = 625 μs	半字编程时间: 30 μs 到 237.25 ms ⁽²⁾	CPU 速度, 0 等待周期
擦除时间	N/A	扇区 (大页面) 擦除时间: 1 s 到 3 s (取决于扇区大小)	NA
写方法	– 启动之后即与 CPU 无关 – 只需要正确供电	启动之后即与 CPU 相关。 如果写操作因软件复位而中断, EEPROM 仿真算法会停止, 但是当前的 Flash 写操作不会因 CPU 复位而中断。 可以按字节 (8 位)、半字 (16 位) 或全字 (32 位) 形式进行访问。	可以按字节 (8 位)、半字 (16 位) 或全字 (32 位) 形式进行访问。 软件复位会中断写操作。
读访问	– 串行: 100 μs – 随机字: 92 μs – 页: 每字节 22.5 μs	并行: (@168 MHz) 半字访问时间为 0.68 μs 到 251 μs ⁽²⁾	CPU 速度, 1 等待周期
写/擦除循环次数	100 万次写循环	每扇区 (大页面) 1 万次循环。使用多个片上 Flash 页等同于增加写循环次数。请参见第 3.4 节: 循环性能和页分配 。	只要存在 VBAT, 就没有限制

1. 有关备份 SRAM 用法的详细信息, 请参见 STM32F40x/41x 参考手册 (RM0090) 的“电池备份域”部分。

2. 有关更多详细信息, 请参见第 2.5 章: [EEPROM 仿真时间](#)。

1.1 写访问时间上的差异

由于 Flash 的写访问时间较短，所以对于一些关键参数，在仿真 EEPROM 中的存储速度要比在外部串行 EEPROM 中更快，从而可以改善数据存储。

1.2 擦除时间上的差异

擦除时间方面的差异是独立 EEPROM 与使用嵌入式 Flash 的仿真 EEPROM 之间的另一个重大差异。与 Flash 不同，EEPROM 在写之前不需要执行擦除操作来释放空间。这就意味着必须执行某种形式的软件管理，才能将数据存储到 Flash 中。此外，由于 Flash 中的块擦除过程需要较长时间，所以在设计 Flash 管理软件时，应注意考虑可能会中断擦除过程的电源关闭和其它一些意外事件（例如复位）。要设计强大的 Flash 内存管理软件，必须透彻了解 Flash 擦除过程。

注：即使 CPU 复位，也不会中断正在对 STM32F40x/STM32F41x 嵌入式 Flash 执行的扇区擦除或批量擦除操作。

1.3 写方法上的相似之处

外部 EEPROM 与具有 STM32F40x/STM32F41x 嵌入式 Flash 的仿真 EEPROM 之间的一个相似之处是写方法。

- **独立外部 EEPROM：**一旦 CPU 启动后，字的写操作便不能被 CPU 复位中断。只有供电故障才会中断写过程，因此正确设置去耦电容的大小可以保护独立 EEPROM 中的整个写过程。
- **使用嵌入式 Flash 仿真的 EEPROM：**由 CPU 启动后，写过程可由电源故障中断。即使 CPU 复位，也不会中断正在对 STM32F40x/STM32F41x 嵌入式 Flash 执行的字写入操作。EEPROM 算法会停止，但是当前的 Flash 字写入操作不会因 CPU 复位中断。

2 实现 EEPROM 仿真

2.1 原理

EEPROM 仿真可以通过多种方式实现，但要注意 Flash 限制和产品要求。下面详述的方法要求为非易失性数据分配至少两个相同大小的 Flash 扇区：一个在开始时擦除，支持逐字编程；另一个在需要对前一扇区执行垃圾回收时接管工作。占用每扇区前半个字（16 位）的头字段指示扇区的状态。在本文档的其余部分，将每一个扇区视为一页，这些页分别称为 Page0 和 Page1。

头字段位于每页的基准地址上，并提供该页的状态信息。

每个页都有三个可能的状态：

- **ERASED**: 页为空。
- **RECEIVE_DATA**: 页正在从另一个满页接收数据。
- **VALID_PAGE**: 页中包含有效数据，并且在将所有有效数据完全传输到已擦除页之前，此状态不会改变。

图 1 显示页的状态如何改变。

图 1. 在 page0 与 page1 之间切换的头状态

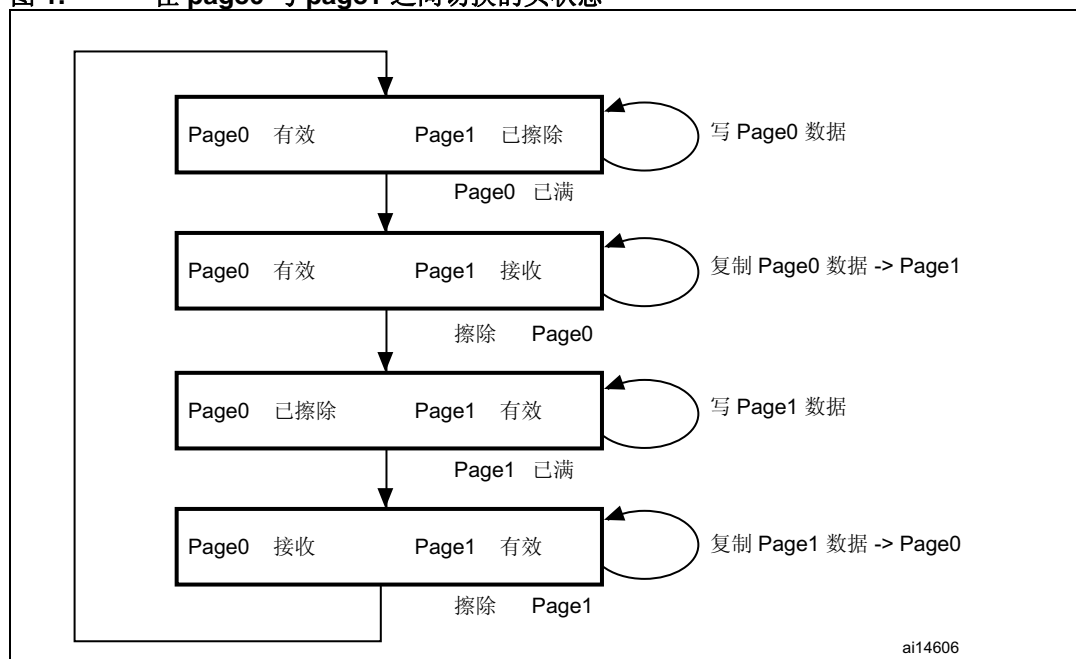


表 2. 仿真页可能的状态和相应操作

Page1	Page0		
	ERASED	RECEIVE_DATA	VALID_PAGE
ERASED	无效状态 操作：将两个页擦除并将 page0 格式化	操作：将 Page1 擦除并将 Page0 标记为 VALID_PAGE	操作：将 page0 用作有效页并擦除 page1
RECEIVE_DATA	操作：擦除 Page0 并将 Page1 标记为 VALID_PAGE	无效状态 操作：将两个页擦除并将 page0 格式化	操作：将 page0 用作有效页并将上次更新的变量从 page0 传送到 page1，同时将 page1 标记为有效页并擦除 page0
VALID_PAGE	操作：将 page1 用作有效页并擦除 page0	操作：将 page1 用作有效页并将上次更新的变量从 page1 传送到 page0，同时将 page0 标记为有效页并擦除 page1	无效状态 操作：将两个页擦除并将 page0 格式化

通常，使用这种方法时，用户事先并不了解变量更新频率。

本文档所述的软件和实现方法使用两个大小为 16 KB 的 Flash 扇区（扇区 2 和扇区 3）来仿真 EEPROM。

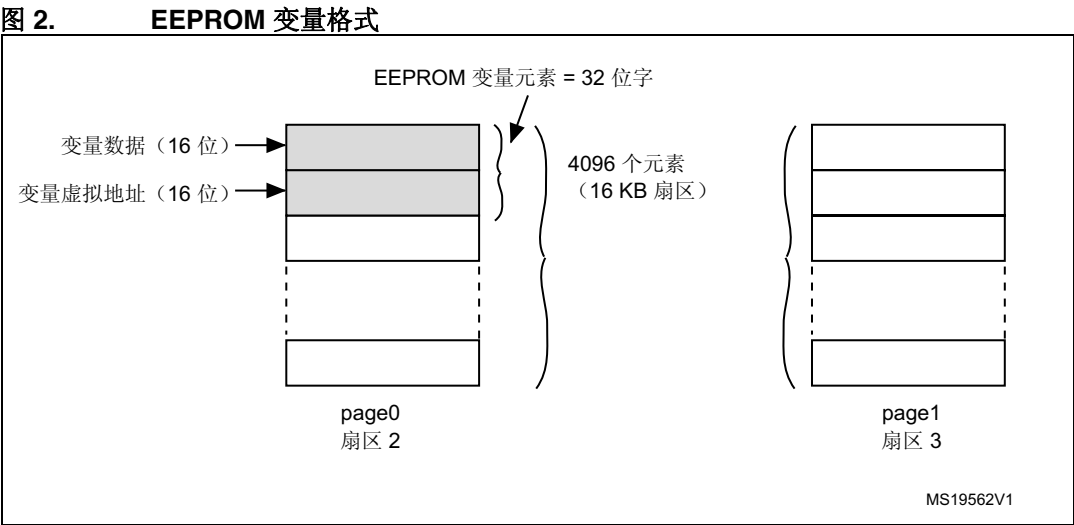
注：由于扇区 2 和扇区 3 的大小比 STM32F40x/STM32F41x Flash 的其它扇区小，因此我们选择这两个扇区（表 3: STM32F40x/STM32F41x Flash 扇区中介绍了 STM32F40x/STM32F41x Flash 的主存储器块划分）。根据具体应用和用户需求，可以选择更大的扇区。

表 3. STM32F40x/STM32F41x Flash 扇区

名称	扇区大小
扇区 0 到扇区 3	16 KB
扇区 4	64 KB
扇区 5 到扇区 11	128 KB

每个变量元素都由一个虚拟地址和值来定义，它们将存储在 Flash 中，用于执行后续检索或更新（在实施的软件中，虚拟地址和数据的长度均为 16 位）。如果修改了数据，与之前虚拟地址相关联的已修改数据将会存储到新的 Flash 位置。数据检索会返回最新的数据值。



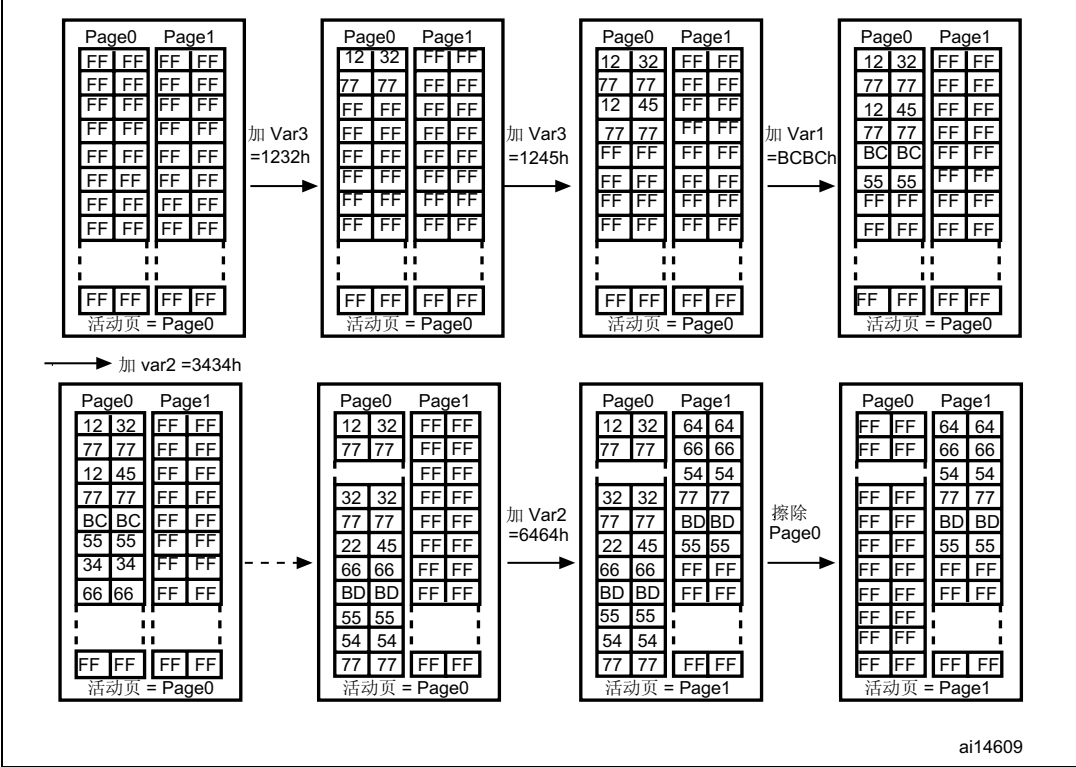


2.2 使用实例：应用示例

以下示例显示的是对具有以下虚拟地址的三个 **EEPROM** 变量 (**Var1**、**Var2** 和 **Var3**) 的软件管理：

- Var1** 的虚拟地址 5555h
- Var2** 虚拟地址 6666h
- Var3** 虚拟地址 7777h

图 3. 数据更新流程



2.3 EEPROM 仿真软件说明

本节介绍使用 STMicroelectronics 提供的 STM32F40x/STM32F41x Flash 驱动程序针对 EEPROM 仿真而执行的驱动程序。

此外还提供了一个样本演示程序，用于使用三个变量（Var1、Var2 和 Var3）来演示和测试 EEPROM 仿真驱动程序，而这三个变量是在软件的 *main.c* 文件所声明的 *VirtAddVarTab[]* 表中定义的。

此项目除了 Flash 库源文件之外，还包含三个源文件：

- **eeeprom.c:** 其中包含 EEPROM 仿真固件函数：


```

EE_Init()
EE_Format()
EE_FindValidPage()
EE_VerifyPageFullWriteVariable()
EE_ReadVariable()
EE_PageTransfer()
EE_WriteVariable()
            
```

- **eeeprom.h:** 其中包含函数原型和一些声明。可使用这个文件来改编下列参数，以满足应用要求：
 - 要使用的 Flash 扇区（默认扇区：扇区 2 和扇区 3）
 - 器件电压范围（默认值：范围 4，2.7V 到 3.6V）

在 EEPROM 仿真固件中，FLASH_ProgramHalfWord() 函数用于对存储器编程。此函数只有在器件电压介于 2.1V 到 3.6V 之间时才可以使用。因此，当应用中的器件电压范围为 1.8V 到 2.1 V 时，必须使用 FLASH_ProgramByte() 函数，以符合固件要求。

 - 要使用的数据变量的个数（默认值：3）
- **main.c:** 这个应用程序是使用所描述的例程对 EEPROM 执行读写操作的示例。

用户 API 定义

下表中描述了 *eeeprom.c* 文件中包含的函数集，这些函数将用于 EEPROM 仿真：

表 4. API 定义

函数名称	说明
EE_Init()	如果在数据更新或扇区擦除 / 传输期间断电，扇区头可能会损坏。在这种情况下，EE_Init() 函数会尝试将仿真 EEPROM 恢复到某个已知的正常状态。每次断电之后，在访问仿真 EEPROM 之前，都应调用此函数。它不接受任何参数。 第 8 页上的表 2：仿真页可能的状态和相应操作 中介绍了此过程。
EE_Format()	此函数用于擦除 page0 和 page1，并将 VALID_PAGE 头写入到 page0。
EE_FindValidPage()	此函数对两个页头都会进行读取，并返回有效的页编号。传递的参数将指示有效页是在试图执行写入还是读取操作（READ_FROM_VALID_PAGE 或 WRITE_IN_VALID_PAGE）。
EE_VerifyPageFullWriteVariable()	用于实施必须更新或创建变量的首个实例的写过程。这包括在活动页上从结尾开始查找第一个空白位置，然后使用传递的虚拟地址和变量数据填充它。活动页已满后，将返回值 PAGE_FULL。此例程使用以下参数： 虚拟地址：可以是三个声明变量的虚拟地址中的任何一个（Var1、Var2 或 Var3） 数据：要存储的变量的值 如果成功，此函数将返回 FLASH_COMPLETE，如果变量更新所需的内存不足，则返回 PAGE_FULL，或者返回 Flash 错误码来指示操作故障（擦除或编程）。
EE_ReadVariable()	此函数返回与作为参数传递的虚拟地址所对应的数据。仅读取最后一次更新结果。此函数将进入一个循环，从中循环读取变量项，直到最后一个为止。如果找不到变量的任何具体值，将返回 ReadStatus 变量，且变量值为“1”，否则会将其重置，以指示找到了该变量且变量值在 Read_data 变量中返回。
EE_PageTransfer()	它会将所有变量（具有关联的虚拟地址的数据）的最新值从当前页传输到新的活动页。在开始时，它会确定活动页，也就是要从中传输数据的页。定义和写入新的页头字段（如果正在接收数据，则新页的状态为 RECEIVE_DATA）。如果数据传输已完成，新页头的状态将为 VALID_PAGE，旧页将被擦除，其标头状态变为 ERASED。
EE_WriteVariable()	此函数供用户应用程序调用来更新变量。它使用前面介绍过的 EE_VerifyPageFullWriteVariable() 和 EE_PageTransfer() 例程。

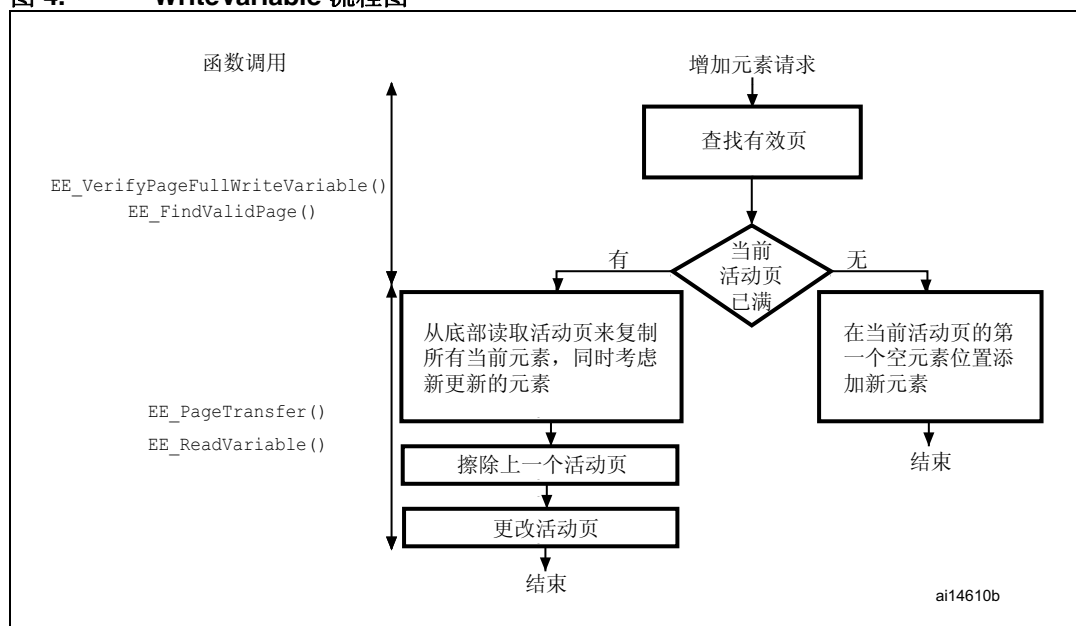
注： 下列函数可用于访问仿真 EEPROM:

- EE_Init()
- EE_ReadVariable()
- EE_WriteVariable()

这些函数用在此应用笔记所随附的应用程序代码中。

图 4 显示了 EEPROM 中变量项的更新过程。

图 4. WriteVariable 流程图



关键特性

- 用户可配置的仿真 EEPROM 大小
- 增加了 Flash 的可擦写次数：页只有在已满时才会被擦除
- 可以减少非易失性数据变量的更新次数
- 可以在执行编程/擦除期间处理中断

2.4 EEPROM 仿真内存占用量

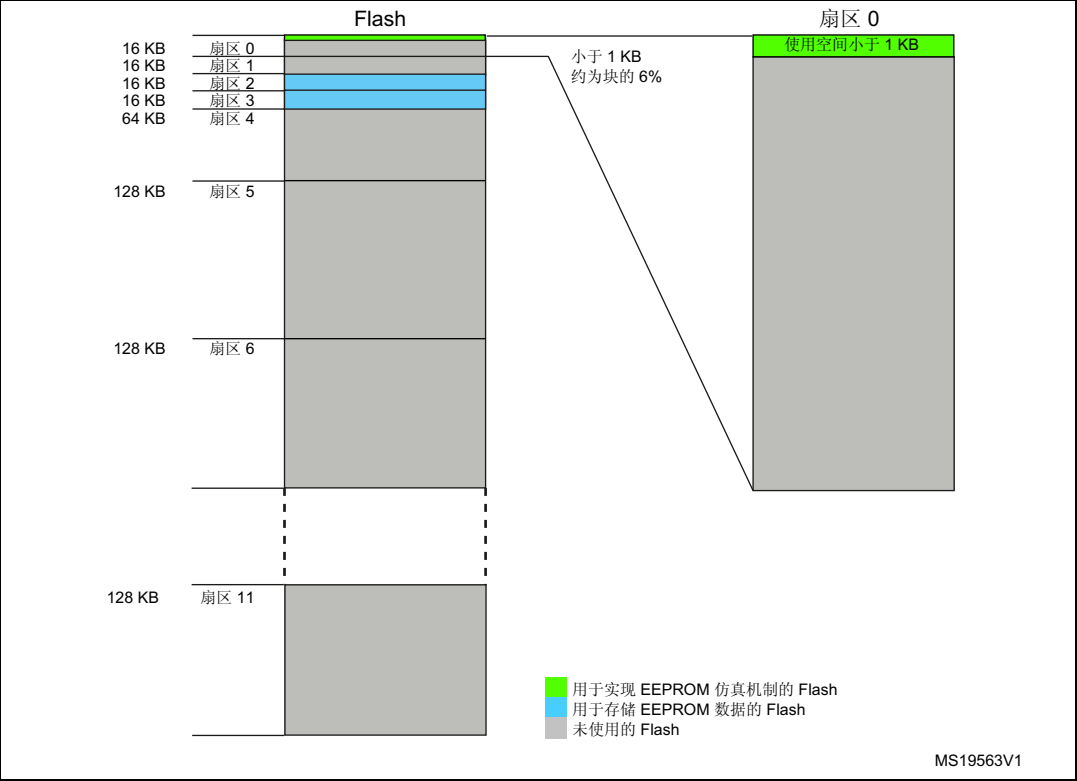
表 5 通过 Flash 大小和 RAM 大小详细说明了 EEPROM 仿真驱动程序的内存占用量。
下面的表和图已使用 IAR EWARM 6.10 工具的 High Size 优化级别进行了确认。

表 5. EEPROM 仿真机制的内存占用量

机制	所需的最低 ⁽¹⁾ 代码大小（字节）	
	Flash	SRAM
EEPROM 仿真软件机制	984	6

1. 基于一个 32 位变量（16 位用于地址，16 位用于数据）。所用的 SRAM 内存会根据所用的变量数而增加。

图 5. EEPROM 仿真的 Flash 占用情况（机制和存储）



2.5 EEPROM 仿真时间

本节将基于两个 16 KB 的 EEPROM 页大小来介绍与 EEPROM 仿真驱动程序关联的时间参数。
所有时间测量的执行条件：

- STM32F407IGT6 版本 A
- 电压范围 3（2.7 V 到 3.6 V）
- 系统时钟频率为 168 MHz，禁用 Flash 的预取功能并启用缓存功能
- 从 Flash 执行代码
- 在室温下

表 6 列出了 EEPROM 的时值。

表 6. 系统时钟为 168 MHz 的 EEPROM 仿真时间

操作	EEPROM 仿真时间		
	最小值	典型值	最大值
EEPROM 中的典型 ⁽¹⁾ 变量 ⁽²⁾ 写操作	28 μs	-	255 μs
EEPROM 中具有页交换 ⁽³⁾ 的变量写操作	-	237 ms	
EEPROM ⁽⁴⁾ 的变量写操作	0.68 μs	-	251 μs
EEPROM 的第一次初始化 ⁽⁵⁾		473 ms	
典型 EEPROM 初始化 ⁽⁶⁾		237 ms	

1. 写入但没有页交换。最小值是指在 Flash 扇区的开始部分某个变量的写操作，而最大值是指在 Flash 扇区的结束部分的写操作。最小值与最大值之间的差异是由于查找空闲 Flash 地址来存储新数据所花费的时间不同所致。
2. 所用变量大小为 32 位（16 位用于虚拟地址，16 位用于数据）。
3. 当有效页变满时页交换完成。这包括将各个变量最后存储的数据传输到另一个空闲页并擦除满页。
4. 最小值是指 Flash 扇区中存储的第一个变量的读操作，而最大值是指最后一个变量 -1 的读操作。最小值与最大值之间的差异是由于查找最后存储的变量数据所花费的时间不同所致。
5. 当 EEPROM 机制第一次运行或当出现无效状态时（有关详细信息，请参见第 8 页上的表 2：仿真页可能的状态和相应操作），将会擦除这两页，并将用于存储的页标记为 VALID_PAGE。
6. 典型 EEPROM 初始化在存在有效页（即 EEPROM 至少已初始化一次）时执行。在典型 EEPROM 初始化期间，将擦除两页中的一页（有关详细信息，请参见第 8 页上的表 2：仿真页可能的状态和相应操作）。



3 嵌入式应用的相关信息

本节提供有关如何克服嵌入式应用中的软件限制以及如何满足不同应用需求的建议。

3.1 数据粒度管理

如果嵌入式应用需要使用字节、半字或字粒度进行更新的非易失性数据存储，则可在其中使用仿真 EEPROM。这通常由用户要求和 Flash 架构（例如存储的数据长度、写访问等）来决定。

STM32F40x/STM32F41x 片上 Flash 支持 8 位、16 位或字编程，具体取决于表 7 中介绍的电压使用范围。

表 7. Flash 编程函数

数据粒度	函数名称	函数电压范围
按字（32 位）	FLASH_ProgramWord	2.7 V 到 3.6 V
按半字（16 位）	FLASH_ProgramHalfWord	2.1 V 到 3.6 V
按字节（8 位） ⁽¹⁾	FLASH_ProgramByte	所有器件提供的电压范围。

1. 逐个字节编程：按字节写入可以存储更多的数据变量。但是，使用 FLASH_ProgramByte() 函数时，性能可能会下降。我们建议使用 FLASH_ProgramHalfWord() 函数。这样，虚拟地址和数据都可以同时以半字形式写入。

3.2 耗损均衡：增加 Flash 可擦写次数

在 STM32F40x/STM32F41x 片上 Flash 中，每个扇区能够可靠编程或擦除的次数大约为 1 万次。

对于在仿真 EEPROM 中使用两页以上（3 页或 4 页）的写密集型应用，建议实施耗损均衡算法来监控和分配页之间的写循环次数。

如果不使用耗损均衡算法，则不能以相同的比率使用这些页。对于存放长期数据的页，其写循环次数要小于存放经常更新的数据的页。耗损均衡算法可以确保每个扇区的所有可用写循环都有相等的使用机会。

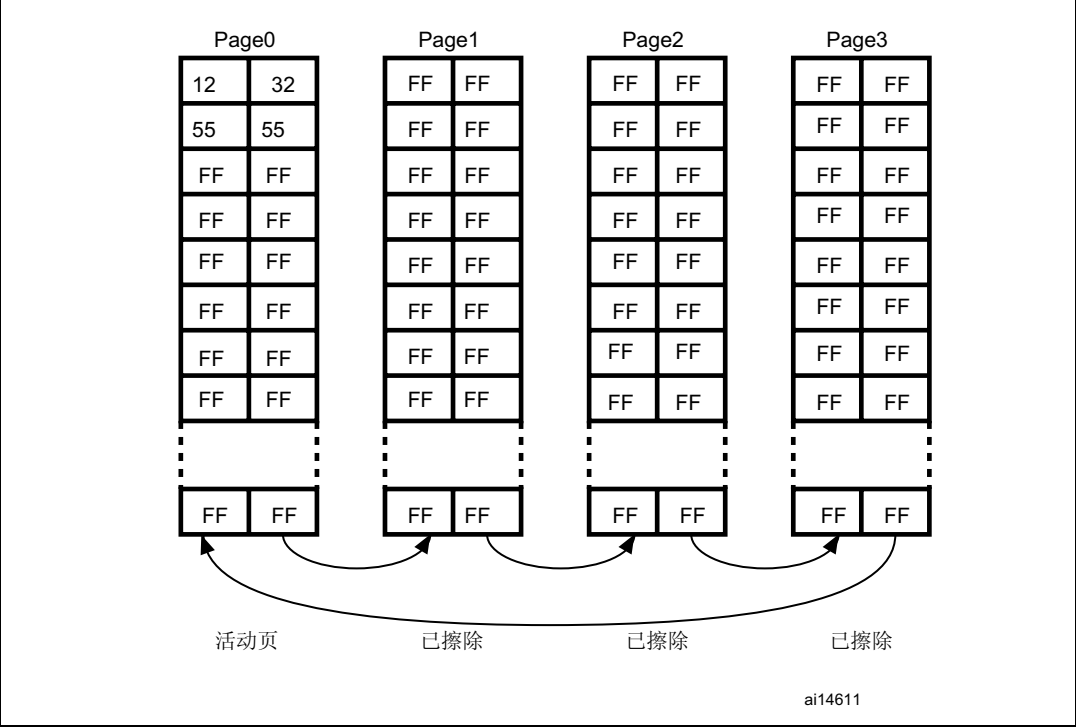
注：STM32F40x/STM32F41x Flash 的主存储器块按照表 3: STM32F40x/STM32F41x Flash 扇区中的说明进行划分。

3.2.1 耗损均衡实现示例

在本示例中，为增加仿真 EEPROM 的容量，将使用四个扇区（sector5 作为 Page0，sector6 作为 Page1，sector7 作为 Page2，sector8 作为 Page3）。

将按照下面的方法实施耗损均衡算法：如果页 n 已满，器件将切换到页 $n+1$ 。对页 n 执行垃圾回收，然后执行擦除。当轮到 Page3 变满时，器件将返回 Page0，并对 Page3 执行垃圾回收和擦除，以此类推（请参见图 6）。

图 6. 四页的页交换机制（耗损均衡）



在软件中，可使用 `EE_FindValidPage()` 函数来实施耗损均衡算法（请参见表 4）。

3.3 断电时的页头恢复

在执行变量更新、页擦除或传输期间如果断电，可能会损坏数据或页头。

要检测此类损坏并加以恢复，可执行 `EE_Init()` 例程。应在上电之后立即调用它。在本应用笔记中将介绍此例程的原理。此例程使用页状态检查完整性，并在必要时执行修复。

在断电之后，将使用 `EE_Init()` 例程检查页头状态。共有九种可能的状态组合，其中三种无效。第 8 页上的表 2: 仿真页可能的状态和相应操作显示了上电后应根据页状态采取的操作。

3.4 循环性能和页分配

3.4.1 循环性能

编程/擦除循环由一个或多个写访问和一个页擦除操作构成。

如果使用 **EEPROM** 技术，则每个字节的编程和擦除次数会受到限制，范围通常为 1 万到 10 万次。

但是在嵌入式 **Flash** 中，最小擦除大小为扇区，而应用到扇区的编程/擦除循环次数即为可执行的擦除循环数。**STM32F40x/STM32F41x** 的电气特性保证了可对每个扇区执行 1 万次编程/擦除循环。因此，仿真 **EEPROM** 的最大使用寿命受最频繁写入参数的更新频率限制。

循环性能取决于用户希望处理的数据量/大小。

在本示例中，使用了两个大小为 16 KB 的扇区，并以 16 位数据进行编程。每个变量对应一个 16 位虚拟地址。即每个变量占用一个字的存储空间。如果仿真 EEPROM 存储器中一页在使用寿命内的数据存储容量为 160 000 KB，则一个扇区可存储的容量等于 16 KB 乘以 Flash 的可擦写次数 1 万次循环。因此，如果在仿真过程中使用两页，则仿真 EEPROM 中可存储 320 000 KB。如果使用的页超过两个，则该数字会相应倍增。

由于了解了所存储变量的数据宽度，所以可以计算仿真 EEPROM 区在其使用寿命内可存储的变量总数。

3.4.2 Flash 页分配

EEPROM 仿真应用所需的扇区大小和扇区数量可根据系统使用寿命内写入的数据量进行选择。

例如，在系统使用寿命内，可使用具有 10 KB 擦除循环的 16 KB 页来最多写入 160 MB 的数据。在系统使用寿命内，大小为 128 KB 的页最多可写入 1280 MB 的数据。

可按照以下方法计算可用变量空间：

$$\text{FreeVarSpace} = (\text{PageSize}) / (\text{VariableTotalSize}) - [\text{NbVar} + 1]$$

其中：

- **Page size:** 以字节为单位的页大小（例如 16 KB）
- **NbVar:** 正在使用的变量数（例如 10 个变量）
- **VariableTotalSize:** 用于存储变量（地址和数据）的字节数
 - VariableTotalSize = 8，用于 32 位变量（32 位数据 + 32 位虚拟地址）
 - VariableTotalSize = 4，用于 16 位变量（16 位数据 + 16 位虚拟地址）
 - VariableTotalSize = 2，用于 8 位变量（8 位数据 + 8 位虚拟地址）

通过以下方法可以计算出应用使用寿命内确保可预测 Flash 操作所需的页数估算值：

所需页数：

$$\text{NbPages} = \text{NbWrites} / (\text{PageEraseCycles} * \text{FreeVarSpace})$$

其中：

- **NbPages** = 所需页数
- **NbWrites** = 变量总写入数
- **PageEraseCycles** = 页的擦除循环次数

注：如果变量是 16 位，则每个变量都占用 32 位（16 位数据加 16 位虚拟地址），这意味着每次写入新数据时，各个变量分别使用 4 字节的 Flash。每个 16 KB（或 128 KB）的页在变满之前可执行 4096 次（或 32768 次）变量写入。

注：这个计算结果是较为保守的估算值。

使用实例示例

设计一个更新 **20** 个不同变量的应用，每 **2** 分钟更新一次，共更新 **10** 年：

- **NbVar = 20**
- **NbWrites = $10 * 365 * 24 * (60/2) * \text{NbVar} = \sim 5200$** 万次写入
- 如果变量包含 **8** 位虚拟地址和 **8** 位数据，则保证所有这些数据的非易失性存储所需的页数为：
 - 两个大小为 **16 KB** 的页或者
 - 两个大小为 **128 KB** 的页
- 如果变量包含 **16** 位虚拟地址和 **16** 位数据，则保证所有这些数据的非易失性存储所需的页数为：
 - 两个大小为 **16 KB** 的页或者
 - 两个大小为 **128 KB** 的页
- 如果变量包含 **32** 位虚拟地址和 **32** 位数据，则保证所有这些数据的非易失性存储所需的页数为：
 - 三个大小为 **16 KB** 的页或者
 - 两个大小为 **128 KB** 的页

表 8. 应用设计

变量大小	写入数 (NbWrites)	要写入的数据总量 (以字节为单位)	页大小 (KB)	页擦除循环次数	所需页数	所用页数 ⁽¹⁾
8 位	52 560 000	105 120 000	16	10000	0.6	2
			128		0.1	
16 位	52 560 000	210 240 000	16	10000	1.3	2
			128		0.2	
32 位	52 560 000	420 480 000	16	10000	2.6	3
			128		0.3	2

1. 仿真 EEPROM 最少需要两页

3.5 实时注意事项

提供的 EEPROM 仿真固件实现要从内部 Flash 运行，因此如果执行的操作需要 Flash 擦除或编程（EEPROM 初始化、变量更新或页擦除），则对 Flash 的访问会终止。因此，应用程序代码不会执行，中断也不会进行处理。

许多应用都可以接受这种特性，但是对于具有实时限制条件的应用，用户需要从内部 RAM 运行关键进程。

在这种情况下：

1. 在内部 RAM 中重定位向量表。
2. 执行内部 RAM 中的所有关键进程和中断服务程序。编译器将提供关键字将函数声明为 RAM 函数；在系统启动时，函数将从 Flash 复制到 RAM，就像任何初始化的变量一样。请务必注意以下内容：对于 RAM 函数，所有使用的变量和调用的函数都应位于 RAM 内。

4 版本历史

表 9. 文档版本历史

日期	版本	变更
2011 年 10 月 21 日	1	初始版本。

请仔细阅读：

中文翻译仅为方便阅读之目的。该翻译也许不是对本文档最新版本的翻译，如有任何不同，以最新版本的英文原版文档为准。

本文档中信息的提供仅与ST产品有关。意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对本文档及本文所述产品与服务进行变更、更正、修改或改进的权利，恕不另行通知。

所有ST产品均根据ST的销售条款出售。

买方自行负责对本文所述ST产品和服务的选择和使用，ST概不承担与选择或使用本文所述ST产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有过任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为ST授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在ST的销售条款中另有说明，否则，ST对ST产品的使用和/或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途（及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况），或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

意法半导体的产品不得应用于武器。此外，意法半导体产品也不是为下列用途而设计并不得应用于下列用途：（A）对安全性有特别要求的应用，例如，生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；（B）航空应用；（C）汽车应用或汽车环境，且/或（D）航天应用或航天环境。如果意法半导体产品不是为前述应用设计的，而采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向意法半导体发出了书面通知，采购商仍将独自承担因此而导致的任何风险，意法半导体的产品设计规格明确指定的汽车、汽车安全或医疗工业领域专用产品除外。根据相关政府主管部门的规定，ESCC、QML或JAN正式认证产品适用于航天应用。

经销的ST产品如有不同于本文档中提出的声明和/或技术特点的规定，将立即导致ST针对本文所述ST产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大ST的任何责任。

ST和ST徽标是ST在各个国家或地区的商标或注册商标。

本文档中的信息取代之前提供的所有信息。

ST徽标是意法半导体公司的注册商标。其他所有名称是其各自所有者的财产。

© 2013 STMicroelectronics 保留所有权利

意法半导体集团公司

澳大利亚 - 比利时 - 巴西 - 加拿大 - 中国 - 捷克共和国 - 芬兰 - 法国 - 德国 - 中国香港 - 印度 - 以色列 - 意大利 - 日本 - 马来西亚 - 马耳他 - 摩洛哥 - 菲律宾 - 新加坡 - 西班牙 - 瑞典 - 瑞士 - 英国 - 美国

www.st.com