
FLASH 模拟 EEPROM 入门指南

前言

由于 APM32 单片机没有 EEPROM 功能,但是在一些应用中需要使用 EEPROM 存储数据。出于节省外置 EEPROM 芯片降低应用成本的考虑,本入门指南详细阐述了如何使用 APM32 的片上 FLASH 模拟 EEPROM 功能。

注: 本应用笔记对应的代码是基于 APME103Z 提供的 V1.x.x 板级支持包 (BSP) 而开发, 对于其他版本 BSP, 需要注意使用上的区别。

1 FLASH 与 EEPROM 简介

FLASH 和 EEPROM 都为非易失性存储器，在断电后数据仍然可以长期保存，这为 FLASH 模拟 EEPROM 提供了条件，FLASH 与 EEPROM 特点对比如下表所示：

表 1. FLASH 与 EEPROM 特点对比		
异同	FLASH	EEPROM
相同点	非易失性存储，断电后数据仍可保存	非易失性存储，断电后数据仍可保存
不同点	写入数据前需先擦除（只能将位由 1 写 0）	写入数据前无需擦除（能将位由 1 写 0，和由 1 写 1）
	最小擦除单元为扇区	无扇区结构
	容量大，价格便宜	容量小，价格昂贵
	擦写寿命大于 10 万次	擦写寿命大于 100 万次
	数据保存时间大于 20 年	数据保存时间大于 100 年

FLASH 模拟 EEPROM 优点：

- 低成本：可节约一颗 EEPROM 芯片；
- 存储、读取速度快：通讯速度快于使用 I2C 或者 SPI 通讯的 EEPROM 元件；
- 抗干扰能力强：由于 FLASH 在单片机内部，不会存在通讯总线被外部干扰的问题；
- 容量可调：可根据实际使用，灵活调整存储空间大小。

2 FLASH 模拟 EEPROM 原理

2.1 EEPOM 数据结构

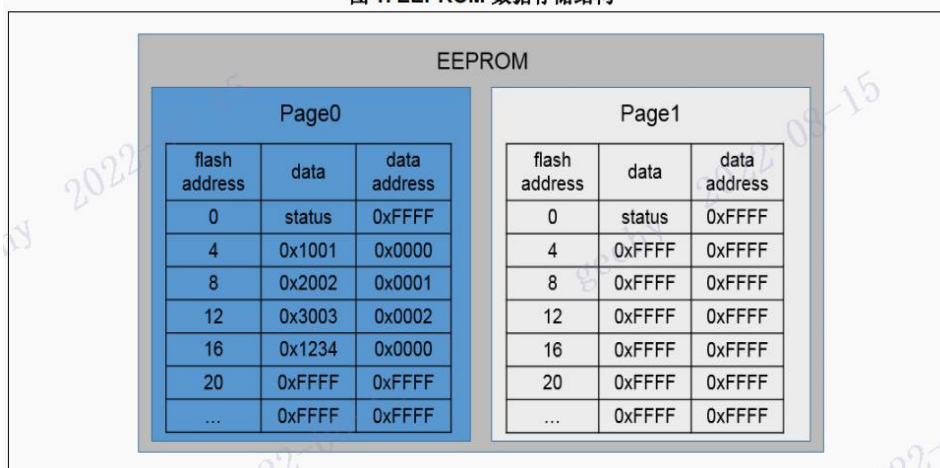
由于 FLASH 在写入数据前，需要将 FLASH 数据先擦除为 0xFF，而 FLASH 擦除时通常为扇区擦除，例如 APM32E103ZG 的扇区大小为 2K 字节，这个特性决定了不能简单的将旧数据擦除然后写新数据，因为这样会导致存储在这个扇区内的其他数据也被擦除，并且也会导致 FLASH 频繁擦除而降低其使用寿命。

所以 FLASH 模拟 EEPROM 的思路是：

- 新数据存储不影响旧数据；
- 尽量减少 FLASH 擦除次数，延长 FLASH 使用寿命。

基于以上的考虑，我们设计了以下存储结构：

图 1. EEPROM 数据存储结构



EEPROM 结构

EEPROM 由两个页组成：页 0 和页 1，在使用的时候，1 个页处于有效状态，另外一个页处于擦除状态，读取或者写入数据都在有效状态的页进行。

数据格式

存储的数据格式为数据 + 数据地址，地址和数据都是 16 位方式存储，每一次存储占用 32 位也就是 4 个字节。图中 data 列为数据，data address 列为数据地址，flash address 列为数据存储的实际 flash 地址偏移量。例如上图中页 0 的 flash address=12 处，数据为 0x3003，数据地址为 0x0002。

页状态标志

在第一个数据存储区，存储页状态标志 status，页状态标志有 3 种：

- 有效状态：EE_PAGE_VALID, status = 0x0000，读取和写数据在此页进行；
- 数据转移状态：EE_PAGE_TRANSFER, status = 0xCCCC，另外一页满了，正在传输有效数据到本页；
- 擦除状态：EE_PAGE_ERASED, status = 0xFFFF。

数据写入

每一次写入数据前，都会从页起始地址开始寻找第一个未存储数据的区域（值为 0xFFFFFFFF），然后将待写入的数据和数据地址写到未存储数据的区域。例如上图中页0的flash address = 20 处，值为 0xFFFFFFFF，就是第一个未存储数据的区域。

当知道了页的大小后，就可以算出最大的变量存储个数：页容量/4-1。例如当页大小为 1K 时，最大可存储的变量数量为 $1024/4-1=255$ 。需要注意的是，在实际使用中，应该尽量留出较多的空闲容量，这样可以减小 FLASH 擦除次数，提高 FLASH 寿命。

另外数据地址不可以超过最大能存储的变量数量，例如当页大小为 1K 时，最大可存储的变量数量为 $1024/4-1=255$ ，那么数据地址 data address 不可以大于 255。

数据读取

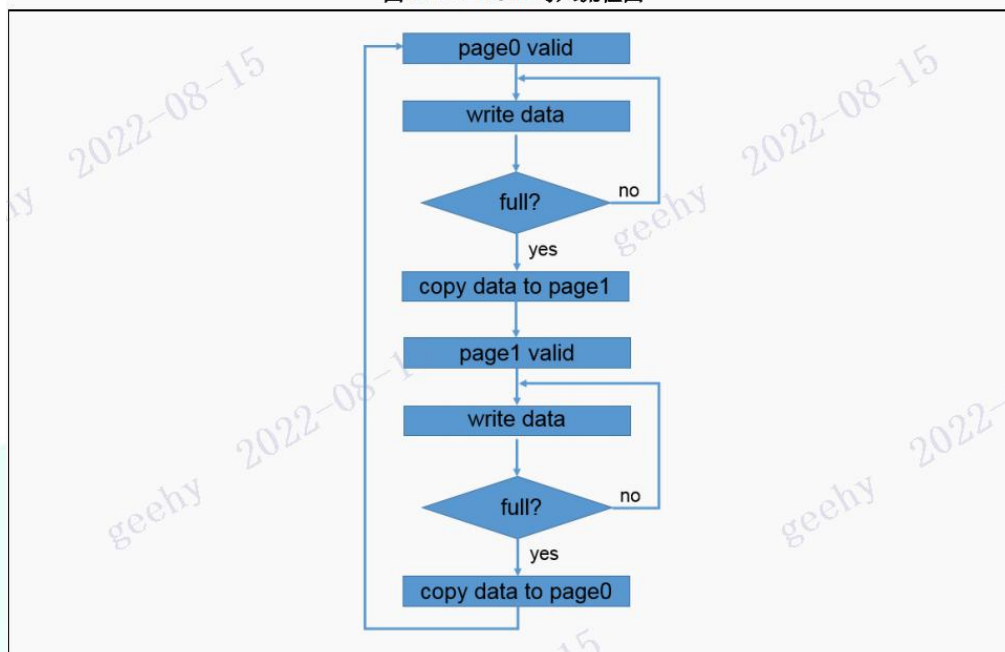
每一次读取数据都会从页结束地址开始向前寻找最后一个存储的有效数据，例如现在要读取地址为 0x0000 的数据。从上图中看到 flash address = 4 和 flash address = 16 都是地址为 0x0000 的数据，因为最后一次存储的数据为 flash address = 16 处的数据，所以此时读取地址 0x0000 的数据为 0x1234。

数据转移

当一页数据存满了之后，会将数据传输到空闲页，将会执行以下操作（以页 0 满，页 1 空为例）：

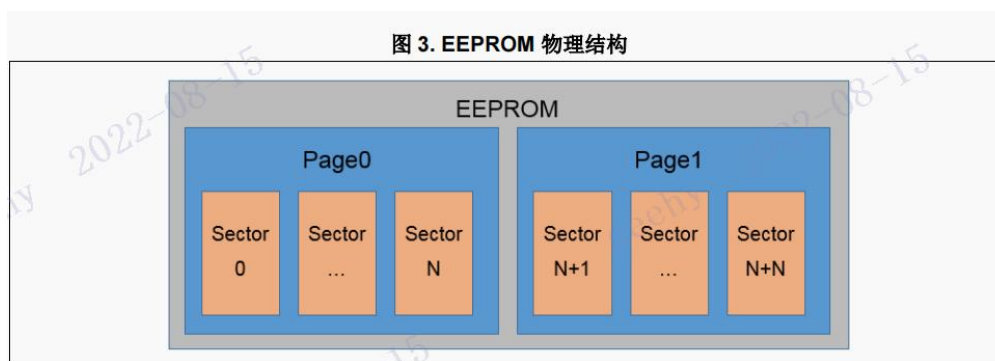
- 将页 1 状态标记为数据传输状态（EE_PAGE_TRANSFER）；
- 将所有有效数据复制到页 1；
- 擦除页 0；
- 将页 1 状态标记为有效状态（EE_PAGE_VALID）。

图 2. EEPROM 写入流程图

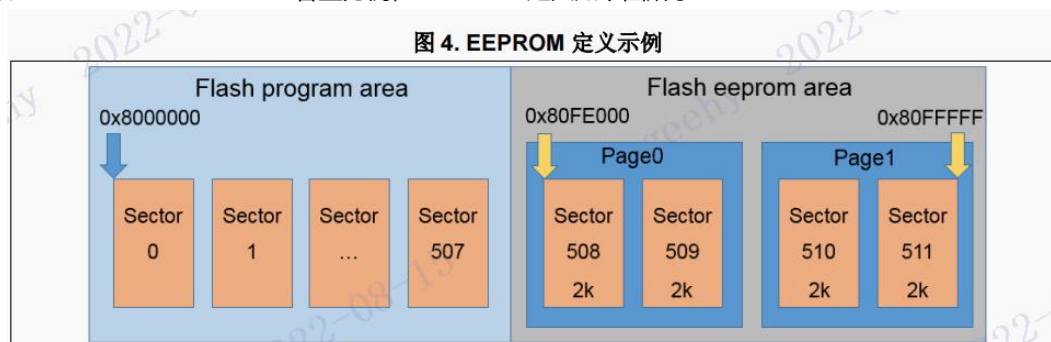


2.2 EEPROM 物理结构

APM32E103 所实现的 EEPROM 结构如下图所示，一个页可以由 1 个或者多个扇区组成，可以根据实际应用灵活的选择扇区数量，扇区数量越多，可以存储的数据量就越多。通常 EEPROM 存储区定义在整个 FLASH 末尾，这样程序的烧录、执行和 EEPROM 区域互不影响。



以 AT32F103 1024K Flash 容量为例，EEPROM 定义如下图所示：



如上图所示，FLASH 总计扇区个数为 512 个，总容量为 1024K。分配扇区 0~507，共计 1016K 字节用于程序存储；分配扇区 508~511 共计 8K 用于 EEPROM。EEPROM 存储在最后 4 个扇区，所以定义 EEPROM 扇区起始地址 EE_BASE_ADDRESS 为 0x80FE000（EE_BASE_ADDRESS 已经自动计算放在 FLASH 末尾，用户无需关心）。

每一个扇区大小为 2K，所以定义扇区大小 EE_SECTOR_SIZE 为 2048。

每一个页包含了 2 个扇区，所以定义扇区数量 EE_SECTOR_NUM 为 2。

此时单个页的容量为 4K，所以最大能存储的变量为 $4096/4-1=1023$ 个，需要注意的是 1023 是理论上最大能存储的变量个数，在实际使用中，应该尽量留出更多的空闲容量，这样可以减小 FLASH 擦除次数，提高 FLASH 寿命。

3 EEPROM 使用

3.1 初始化状态机

由于 EEPROM 是通过页 0 和页 1 的 **status** 标志管理的，当一页写满了之后会进行复制有效数据到新页，有可能在复制数据过程中发生断电、MCU 复位等情况，此时当 MCU 重新启动时，需要继续完成之前的操作才能继续使用。所以在使用 EEPROM 前，需要根据 **status** 标志值，来执行相关的初始化操作。初始化状态机已经被封装进了函数 **flash_ee_init()**，用户可以直接调用。

表 3. EEPROM 初始化状态机				
		页 1		
		有效 VALID	数据转移 TRANSFER	擦除 ERASE
页 0	有效 VALID	擦除页 0 标记页 0 为 VALID 擦除页 1	擦除页 1 数据从页 0 复制到页 1 擦除页 0 标记页 1 为 VALID	擦除页 1
	数据转移 TRANSFER	擦除页 0 数据从页 1 复制到页 0 擦除页 1 标记页 0 为 VALID	擦除页 0 标记页 0 为 VALID 擦除页 1	擦除页 1 标记页 0 为 VALID
	擦除 ERASE	擦除页 0	擦除页 0 标记页 1 为 VALID	擦除页 0 标记页 0 为 VALID 擦除页 1

FLASH 模拟 EEPROM 功能提供了 3 个函数以供用户使用，分别是初始化、写数据、读数据。

1) EEPROM 初始化，每一次 MCU 复位了之后，都必须调用此函数进行初始化。

flash_status_type flash_ee_init(void);

— 返回值：Flash 操作状态。

2) 从 EEPROM 读取数据

uint16_t flash_ee_data_read(uint16_t address, uint16_t* pdata);

— **address**：为变量的地址；

— **pdata**：为读出的数据；

— 返回值：数据读取状态 0：成功读取数据，1：未找到数据。

3) 写数据到 EEPROM

flash_status_type flash_ee_data_write(uint16_t address, uint16_t data);

— **address**：为变量的地址；

— **data**：为写入的数据；

— 返回值：Flash 操作状态。

需要注意的是 **address** 值不可以大于变量个数，例如当页大小为 2K 时，最大能存储 $2048/4-1=511$ 个变量，那么 **address** 的范围就是 0~511。

Document revision history

Date	Revision	Changes
2022. 5. 24	V1.0	Initial release

IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY

Purchasers understand and agree that purchasers are solely responsible for the selection and use of Geehy' s products and services.

Geehy' s products and services are provided "AS IS" and Geehy provides no warranties express, implied or statutory, including, without limitation, any implied warranties of merchantability, satisfactory quality, non-infringement, or fitness for a particular purpose with respect to the Geehy' s products and services.

Notwithstanding anything to the contrary, purchasers acquires no right, title or interest in any Geehy' s products and services or any intellectual property rights embodied therein. In no event shall Geehy' s products and services provided be construed as (a) granting purchasers, expressly or by implication, estoppel or otherwise, a license to use third party' s products and services; or (b) licensing the third parties' intellectual property rights; or (c) warranting the third party' s products and services and its intellectual property rights.

Purchasers hereby agrees that Geehy' s products are not authorized for use as, and purchasers shall not integrate, promote, sell or otherwise transfer any Geehy' s product to any customer or end user for use as critical components in (a) any medical, life saving or life support device or system, or (b) any safety device or system in any automotive application and mechanism (including but not limited to automotive brake or airbag systems), or (c) any nuclear facilities, or (d) any air traffic control device, application or system, or (e) any weapons device, application or system, or (f) any other device, application or system where it is reasonably foreseeable that failure of the Geehy' s products as used in such device, application or system would lead to death, bodily injury or catastrophic property damage.

© 2020 Geehy Semiconductor Co., Ltd -All rights reserved