



前言

本应用笔记讲解的低成本解决方案可使用任何未配备片上 LCD 控制器的 STM32F10xxx 微控制器，直接驱动 QVGA TFT-LCD。强大的 STM32F10xxx 器件具有嵌入式的 FSMC（灵活的静态存储控制器），它可与片上 DMA 控制器共同使用，实现对 TFT-LCD 的直接驱动。此低成本解决方案为数字相框、独立信息显示器、静态广告板等应用的理想选择。

本应用笔记说明了怎样将 STM32F10xx 用作 LCD 控制器，驱动一个与 FSMC 接口的 QVGA 3.5" TFT 面板。此解决方案实现的优化意味着仅需 1% CPU 负荷即可显示静态图片。

固件的演示已在 320x240 像素分辨率的 CT05350DW0000T QVGA 3.5" LCD 模块上开发并测试。

目录

1	STM32 QVGA TFT-LCD 直接驱动	3
1.1	STM32 QVGA TFT-LCD 直接驱动原理	3
2	STM32 QVGA TFT-LCD 驱动实现	6
2.1	QVGA TFT-LCD 信号与 STM32F10xx FSMC 接口	6
2.2	图片格式与分辨率	7
2.3	图片源	7
2.4	STM32 QVGA LCD-TFT 直接驱动流程	7
2.4.1	显示模式	11
2.5	TFT-LCD 背光控制	12
3	硬件参考设计	13
4	固件包	16
	库	16
	项目	16
4.1	固件安装	17
4.2	如何配置 QVGA TFT-LCD 参数	18
5	结论	19
6	修订历史	20

1 STM32 QVGA TFT-LCD 直接驱动

STM32 微控制器具有一个嵌入式的灵活静态存储控制器（FSMC），可连接 NAND、NOR、SRAM、PSRAM 等外部存储器接口。该微控制器还有大量通用 I/O 端口引脚，可与 FSMC 共同工作，成为低端显示器的低成本 TFT-LCD 控制器：

- FSMC 外设的 16 位数据线可方便地与 TFT-LCD 面板的 565 RGB 格式线接口（在 565 RGB 格式中，5 位用于红色，6 位用于绿色，5 位用于蓝色）。
- 外部存储器可用作图片源，也可作为 TFT-LCD 刷新的帧缓冲。
- 通用 I/O 引脚可为 LCD 提供同步逻辑。

1.1 STM32 QVGA TFT-LCD 直接驱动原理

无控制器 TFT-LCD 面板具有多种数据线配置，例如 16 位、18 位、24 位 RGB 线。具有 16 位数据接口的 TFT-LCD 为每个像素提供了 565 格式。

TFT-LCD 面板显示器以行列结构管理。垂直扫描控制行数据输出，水平扫描控制列数据输出。

除数据线配置不同外，其它数据显示管理信号对所有 TFT-LCD 面板通用：

- 帧同步信号（VSYNC）管理垂直扫描，作为图片（帧）更新选通。
- 行同步信号（HSYNC）管理水平线扫描，作为行显示选通。
- 同步信号与像素数据时钟（DCLK）执行数据输出到 TFT RGB 数据线。
- DCLK 仅作为 TFT 的数据有效信号。仅在 DCLK 信号沿时 TFT 才将数据作为输入。DCLK 有效沿（上升 / 下降）在 TFT 数据手册中讲述。

水平扫描构建一条线显示，垂直扫描构建整个帧。每秒连续执行多帧图片的垂直和水平扫描。

TFT 还需要一个 TFT 使能信号，它仅作为芯片使能信号和 TFT 复位信号。

必须根据显示时间的限制同步 TFT 信号，以确保显示具有连续视觉效应。

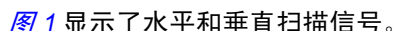
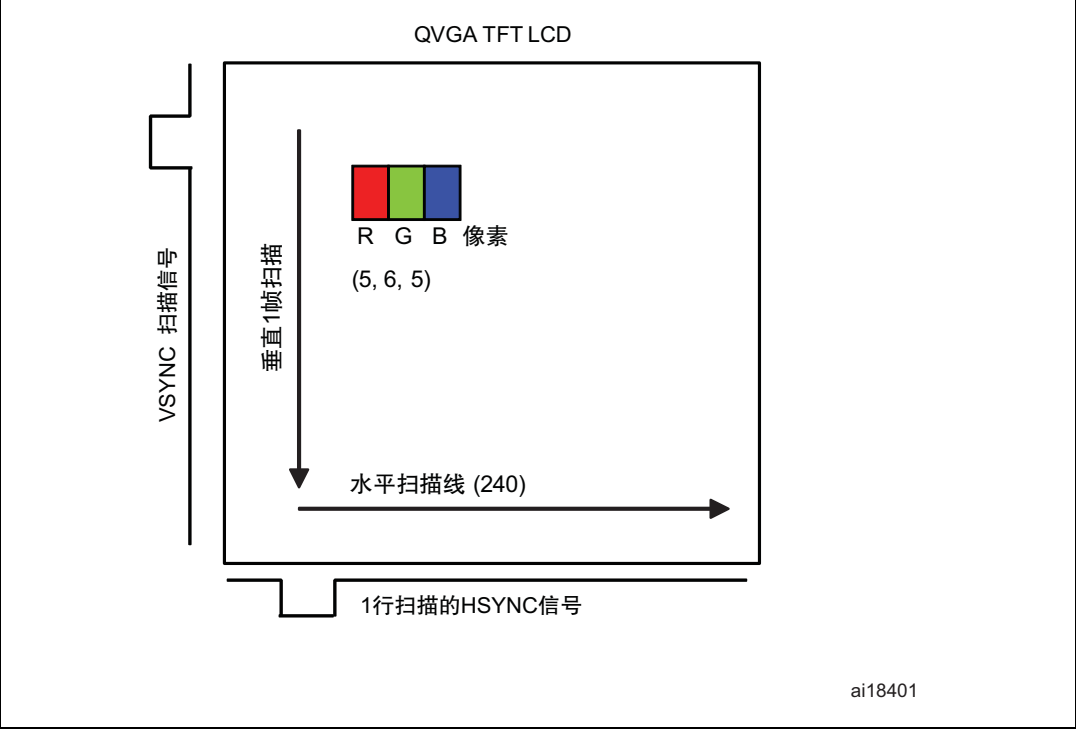
 图 1 显示了水平和垂直扫描信号。

图 1. QVGA TFT-LCD 显示扫描信号



FSMC 总线数据宽度为 16 位，因此，若 TFT-LCD 面板有 24 位 RGB 线，则 LCD RGB 数据线的 MSB 能以 565 格式接口。

图片必须在 TFT-LCD 上连续显示，这可以由 STM32 微控制器方便管理。

图 2 显示了 TFT 同步信号波形。

图 2. 帧同步信号波形

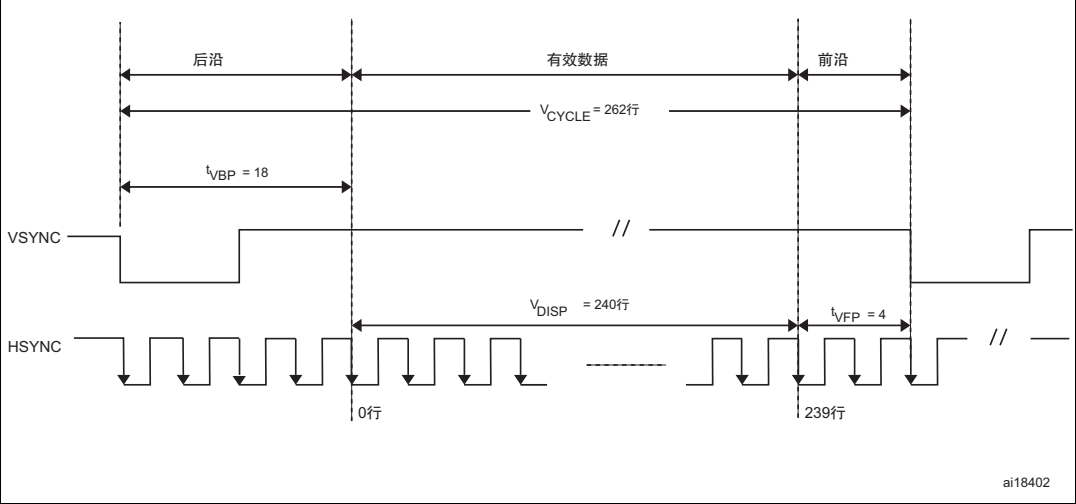
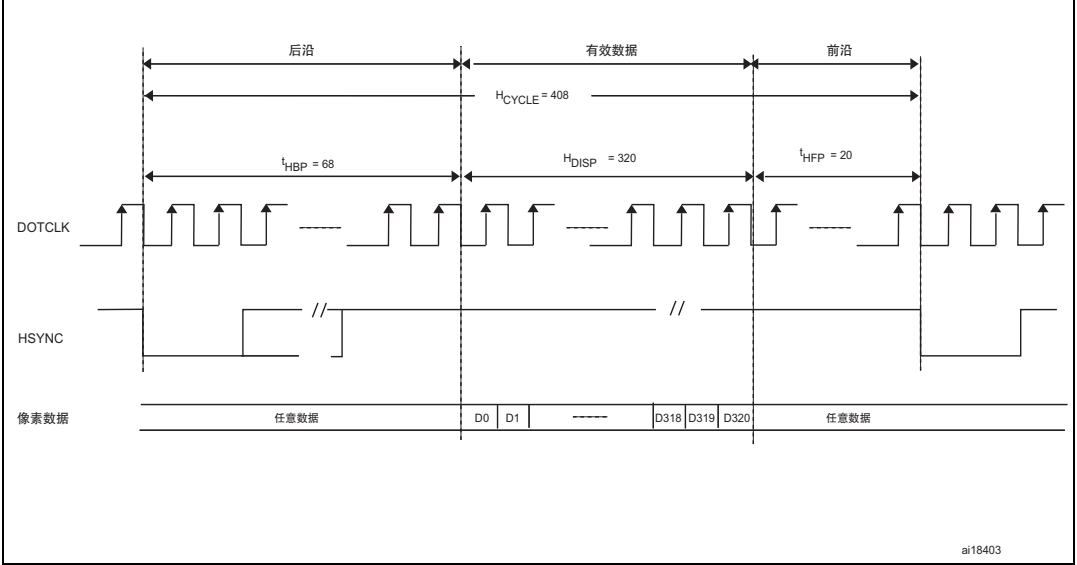


图 3. TFT 线同步信号波形

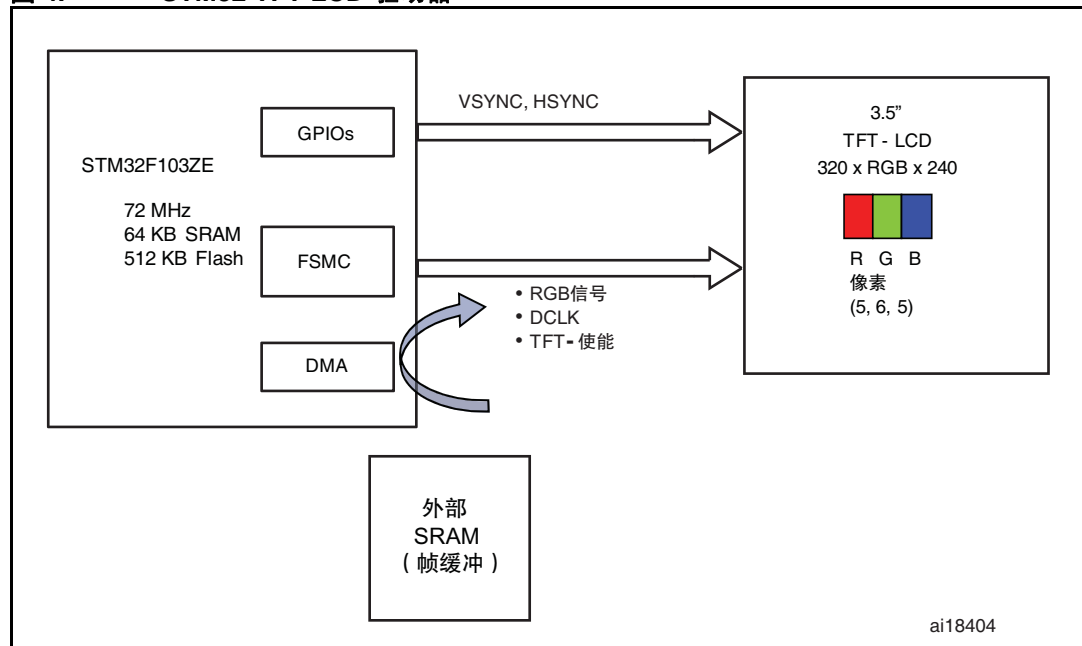


2 STM32 QVGA TFT-LCD 驱动实现

基于 STM32 的 TFT-LCD 驱动是使用 FSMC 16 位数据线实现的。STM32 有两个内部 DMA 控制器，用以提高显示性能，从而增加显示帧率。

外部 SRAM 用作帧缓冲，可通过定时器控制实现连续图片刷新过程。

图 4. STM32 TFT-LCD 驱动器



2.1 QVGA TFT-LCD 信号与 STM32F10xx FSMC 接口

TFT-LCD 同步信号 VSYNC 和 HSYNC 是通过 STM32 GPIO 管理的。

FSMC 存储器接口写使能信号以反转配置使用，作为 TFT 的 DCLK（像素时钟），FSMC 片选信号作为 TFT 使能信号。

当数据传输到 FSMC 总线时，片选首先处于低电平，使能 TFT-LCD。然后写使能信号处于低电平，令 16 位数据传输到 TFT RGB 线，显示单个像素：

- TFT- 使能：FSMC 片选（引脚 PG12）
- VSYNC：GPIO - 引脚 PA8
- HSYNC：GPIO - 引脚 PC6
- DCLK：FSMC WE 的反转模式 - 引脚 PD5
- 数据总线：FSMC[D0:D15]
- SPI1：用于 LCD 配置

2.2 图片格式与分辨率

STM32 FSMC 的 16 位数据总线可驱动无控制器的 24 位 LCD 模块。由于 FSMC 存储器总线上只有 16 条数据线，所以接口为 565 格式的 RGB。QVGA TFT-LCD 的其余线开路。图片以 565 格式加载到外部 SRAM，以避免 STM32 的转换开销。

从性能的角度，在存储器中转换的图片提供了向 TFT 接口快速传输数据的好处。因此，可支持更快的图片刷新率。

- 像素数据大小 = 16 比特 = 2 字节
- QVGA TFT 的图片存储器大小 = $320 \times 240 \times 2 = 153600$ 字节

2.3 图片源

565 格式的图片编程于 NOR 存储器中。

首先，两个图片从 NOR 传输到外部板上 SRAM。外部 SRAM 作为 TFT-LCD 的帧刷新缓冲。

为实现动画横幅广告显示，使用 NOR 存储器中的新图片在运行模式期间更新 SRAM 帧缓冲。使用此方法维持 TFT-LCD 控制器的确切工作模型。

板上 NOR 存储器包含编程的图片，将显示在 LCD 上。SRAM 双缓冲管理可令源数据在运行模式中更新。

2.4 STM32 QVGA LCD-TFT 直接驱动流程

为了在无控制器 TFT 上实现静态图片显示，必须以至少 15 fps 的速率刷新图片帧。根据 TFT-LCD 模块规范，执行一帧的垂直和水平扫描。

QVGA-LCD 模块单帧显示需要 320x240 像素的数据。

在 TFT 上垂直扫描 240 条水平行（每条 320 像素）以显示一帧。

在扫描数据的同时，需要写入空数据，以使 TFT 达到需要的水平和垂直前后沿值。这些值可从 TFT 数据手册得到。

写入空数据包括向 TFT RGB 线写入零数据。

- DMA1_Channel1 用于后沿数据传输
- DMA1_Channel2 用于有效数据传输
- DMA1_Channel3 用于前沿数据传输

FSMC 配置为异步模式，工作于 Mode1，这是配置 SRAM 类型时选择的默认模式。

[图 5](#) 和 [图 6](#) 显示了 SRAM mode1 中一个 16 位数据像素的 FSMC 异步读写事务。

图 5. Mode 1 - SRAM 读访问

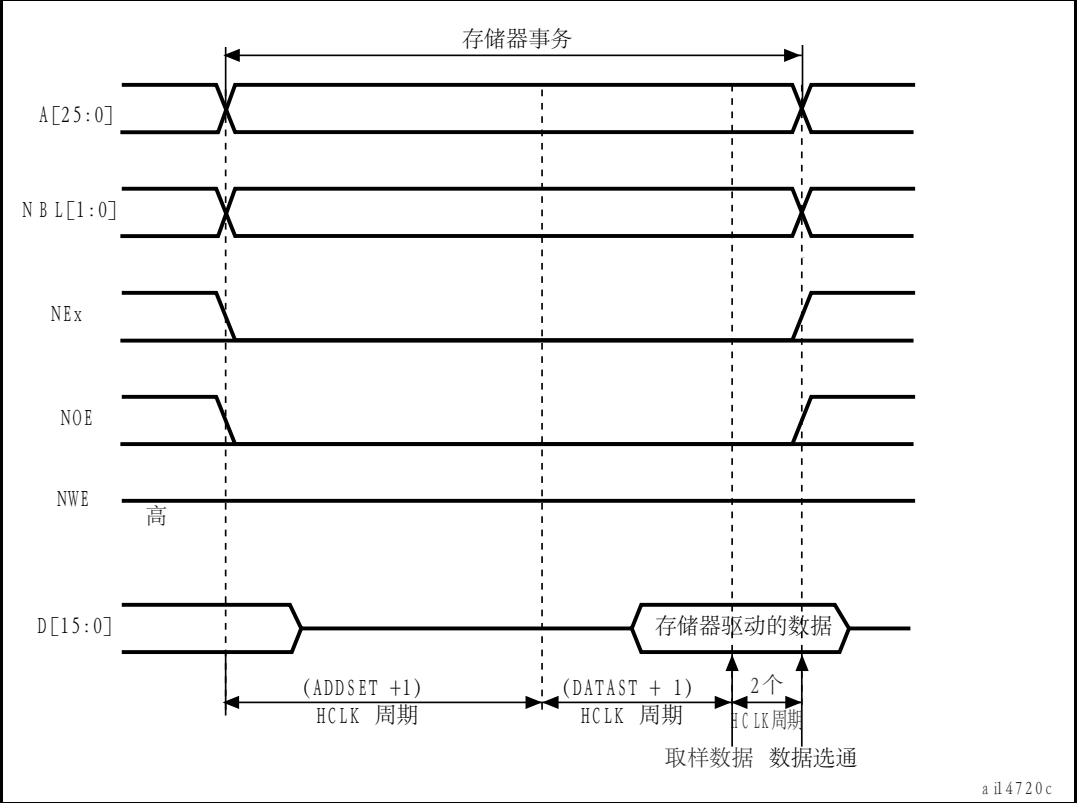
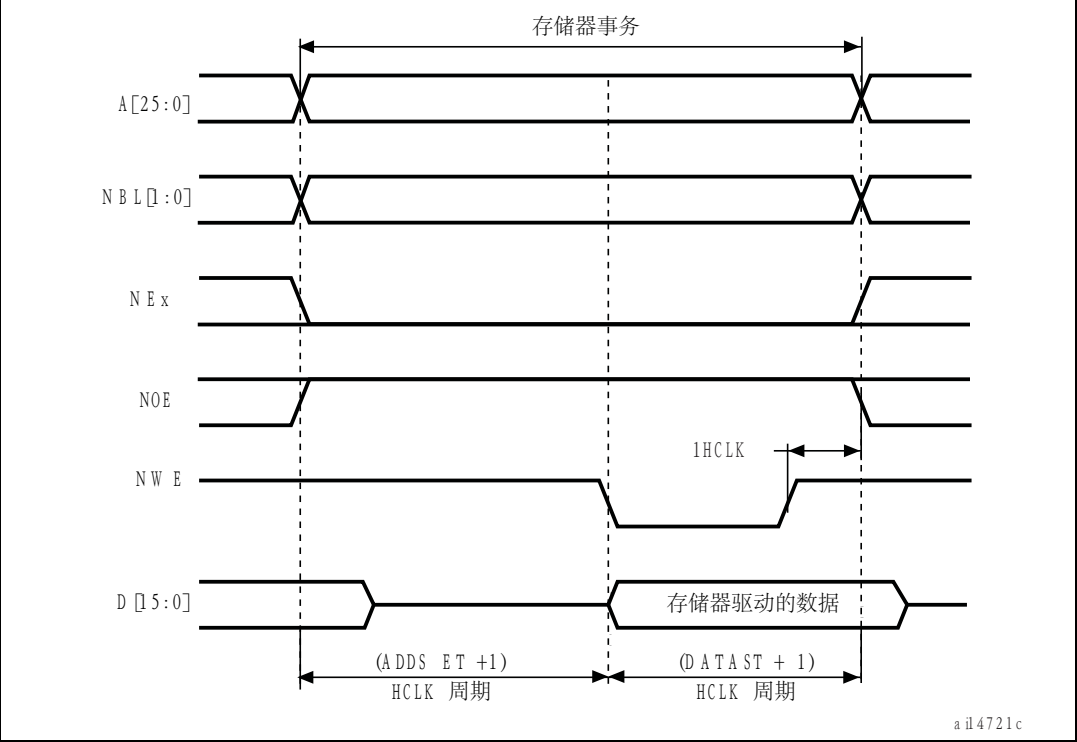


图 6. Mode1- SRAM 写访问



DMA 通道用于刷新 TFT-LCD 上的图片，这分担了 CPU 的数据传输任务负荷。

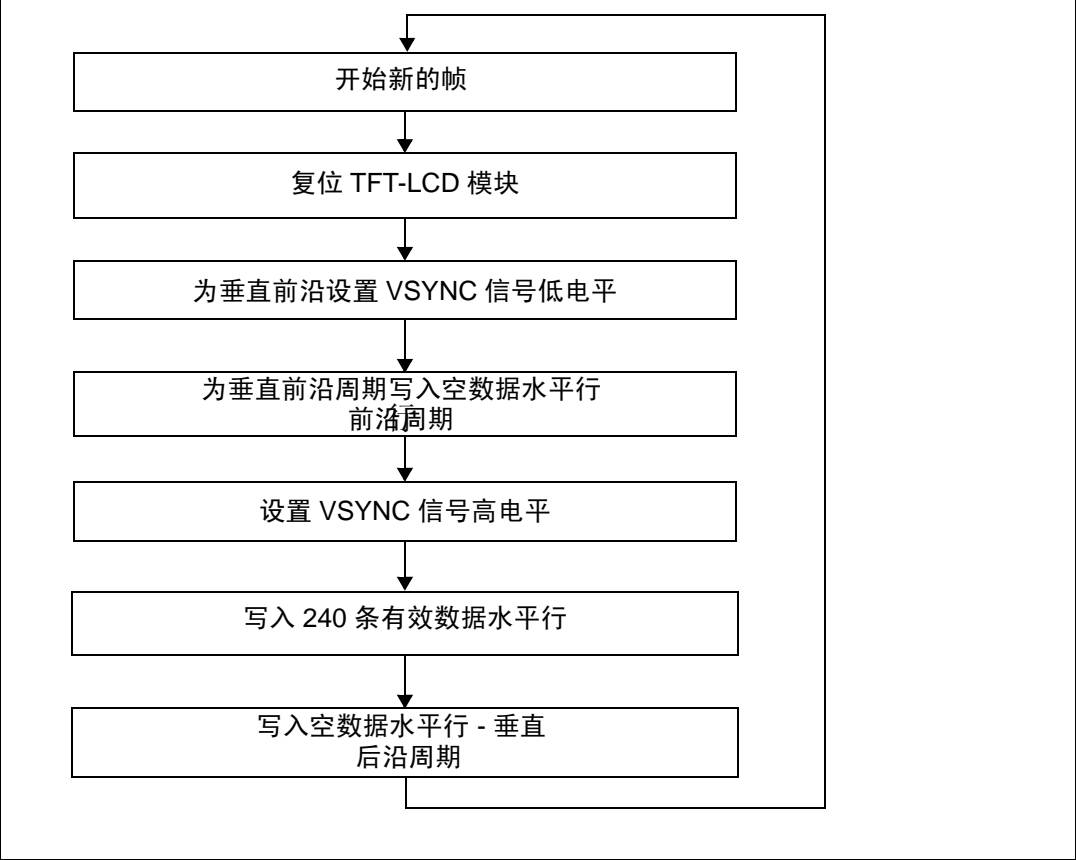
DMA 的配置：外部 SRAM 为源， LCD 为目标。DMA 传输完成中断用于为新一帧传输切换 VSYNC 和 HSYNC 同步信号。用一个定时器（TIM3）控制显示帧率。

当 DMA 向 FSMC 总线写入数据时，FSMC 生成 TFT 使能信号——TFT DCLK，数据写入 TFT RGB 线。

STM32 用这种方式管理无控制器 TFT LCD 模块的完整图片显示。

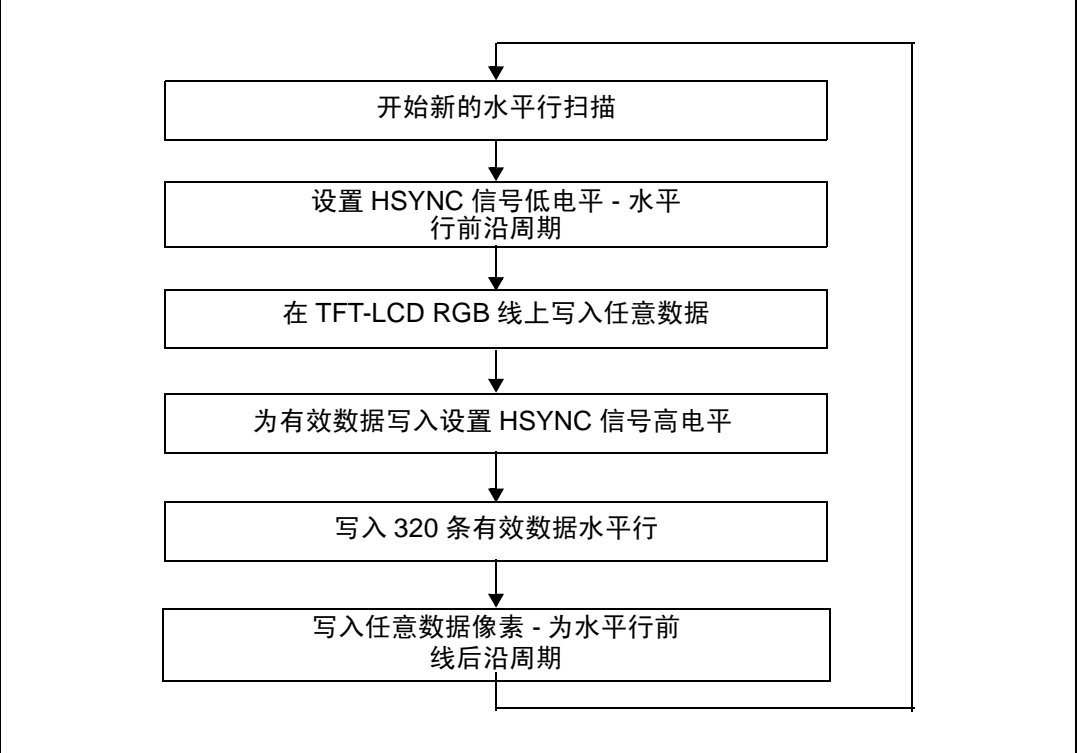
图 7 和 图 8 显示了 TFT- LCD 单帧和水平行显示流程图。

图 7. TFT- LCD 单帧显示流程图



注：请参考 TFT-LCD 数据手册，以获取垂直前沿和后沿周期值。

图 8. TFT- LCD 单水平线显示流程图



注：请参考 TFT-LCD 数据手册，以获取水平前沿和后沿周期值。

2.4.1 显示模式

提供有两种显示模式以供选择。

STM32 幻灯片展示显示模式

在此模式中，SRAM 缓存中的两张静态图片在固定的时间间隔后显示在 TFT-LCD 上。用户可配置多于两张图片，还可更改帧缓冲地址位置。在此模式中，每秒最多可显示 40 帧。

表 1. STM32 幻灯片展示显示：CPU 负荷 & 帧率

参数	数值
DCLK（像素时钟）	3.6 MHz
最大帧率	40 Hz
CPU 负荷	1%

STM32 横幅广告显示模式

在此模式中，从 NOR Flash 动态更新 SRAM 中的图片缓冲，以显示图片动画。为更新图片，使用了两个 DMA 通道。

表 2. STM32 幻灯片展示显示：CPU 负荷 & 帧率

参数	数值
DCLK（像素时钟）	3.6 MHz
最大帧率	19 Hz
CPU 负荷	51%

横幅广告显示模式中的帧率更低，归功于 SRAM 帧缓冲为动画做的动态更新。在显示完整一帧后执行帧缓冲更新。

注：使用 EWARM 工具链 V5.5，对帧率和 CPU 负荷做了高速优化并测量。CPU 频率为 72 MHz。

2.5 TFT-LCD 背光控制

在两种显示模式中，都通过一个定时器和 ADC 通道控制 TFT 背光。

定时器（TIM4）配置为在 PB6 上生成 1 KHz PWM 信号输出，可用作 TFT 背光控制器的 PWM 使能信号。TFT-LCD 背光控制通过改变 PWM 使能信号的占空比实现，方法是旋转 MB672 STM3210E-EVAL 评估板上安装的 RV1 电位计。

若需电位计硬件的详细信息，请参考 MB672 STM3210E-EVAL 评估板用户手册。

3 硬件参考设计

STEVAL-CCM002V1 评估板应用作 MB672 STM3210E-EVAL 评估板的子板。STEVAL-CCM002V1 板有一个 QVGA TFT 3.5" (CT05350DW0000T (薄膜晶体管液晶显示器))。

下表提供了当与 STM32F103ZET6 接口时，CT05350DW0000T TFT 的信号说明。

表 3. STM32F103ZET6 信号与 CT05350DW0000T LCD 接口

LCD 信号	STM32F103ZET6 信号	说明
LCD 复位	GPIO- PC1	用于复位 TFT-LCD
LCD X1,X2,Y1,Y2	连接至 STMPE811 触摸屏控制器设备	LCD 触摸屏信号
LCD B0-LCD B2	不连接	LCD 蓝色数据线 [0-2]
LCD B3-LCD B7	FSMC[D0..D4]	LCD 蓝色数据线 [3-7]
LCD G0-LCD G1	不连接	LCD 绿色数据线 [0-1]
LCD G2-LCD G7	FSMC[D5..D10]	LCD 绿色数据线 [2-7]
LCD R0-LCD R2	不连接	LCD 红色数据线 [0-2]
LCD R3-LCD R7	FSMC[D11..D15]	LCD 红色数据线 [3-7]
LCD HSYNC	GPIO- PC6	LCD 水平同步信号
LCD VSYNC	GPIO- PA8	LCD 垂直同步信号
LCD DCLK	FSMC NWE 反转	LCD 像素时钟信号
LCD SPI CS	SPI1_CS - PA4	LCD SPI 片选信号
LCD SPI CLK	SPI1_CLK - PA5	LCD SPI 时钟信号
LCD SPI DATA	SPI1_MOSI -PA7	LCD SPI 数据信号
LCD ENABLE	FSMC NE4	LCD 片选信号

请参考用户手册 UM0921，以获取 STEVAL-CCM002V1 子板的完整说明。

子板的订购代码为：STEVAL-CCM002V1。

图 9. STM3210E- EVAL 板到 TFT-LCD 的连接器

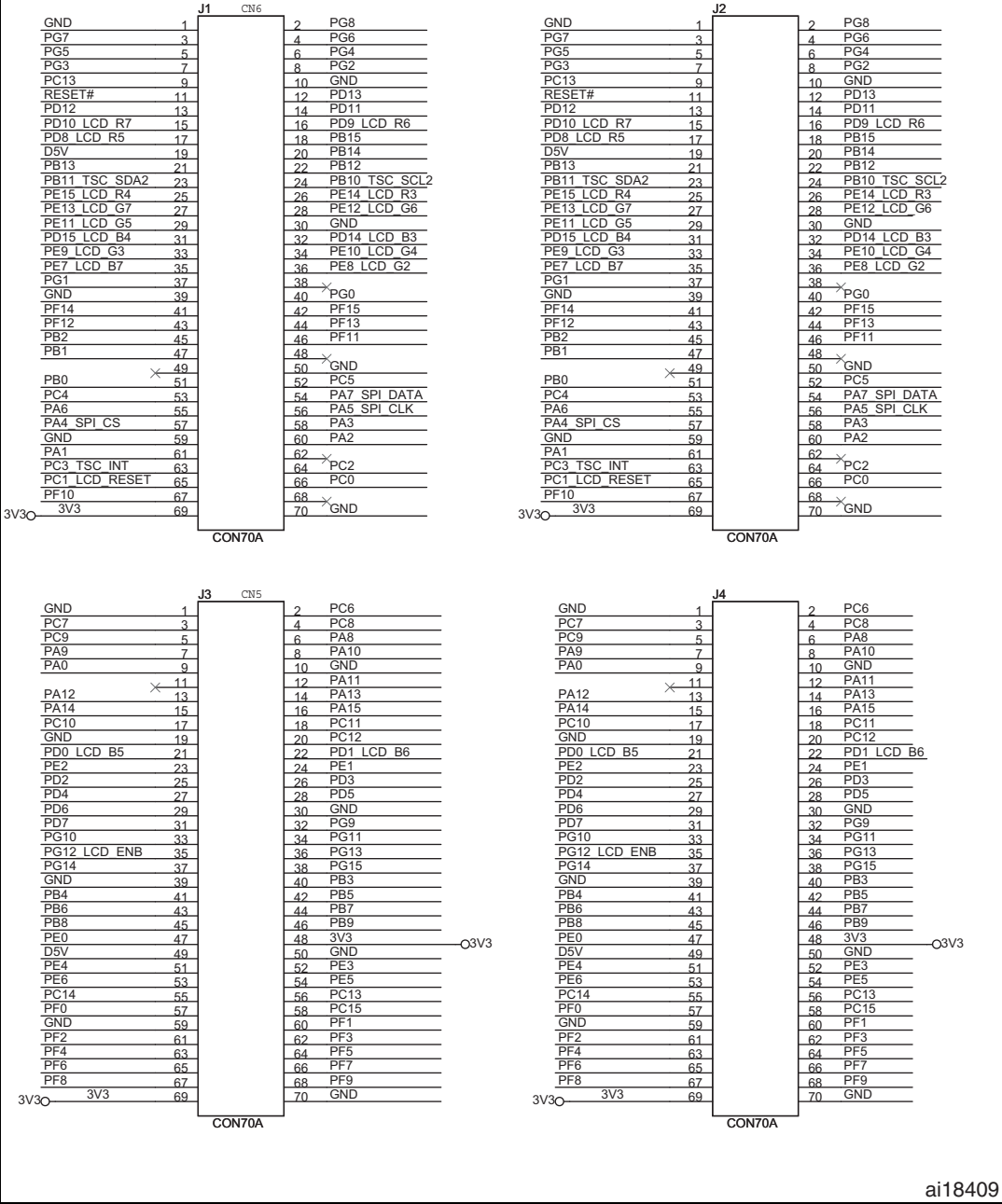
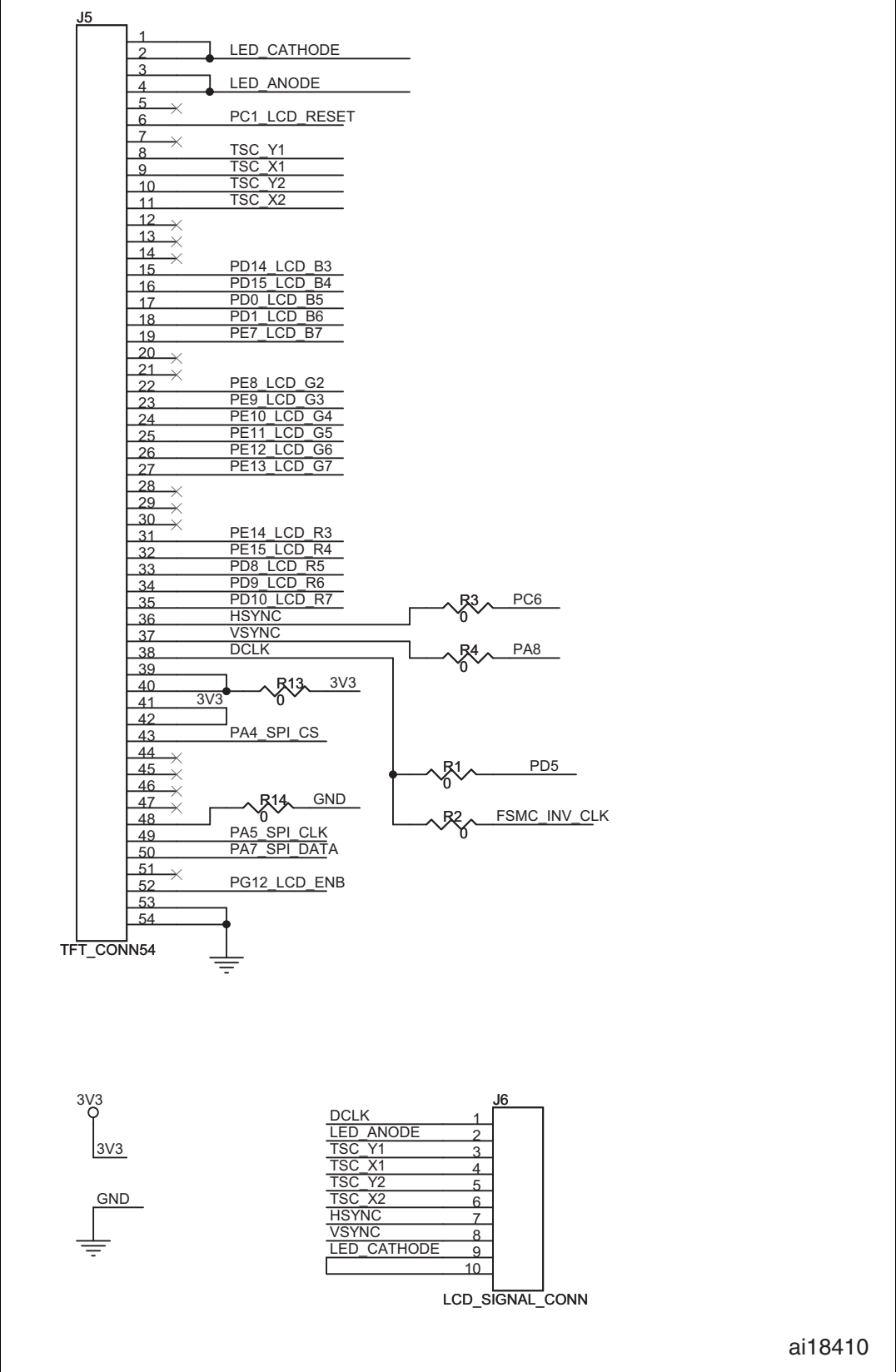


图 10. TFT-LCD 54 引脚连接器



ai18410

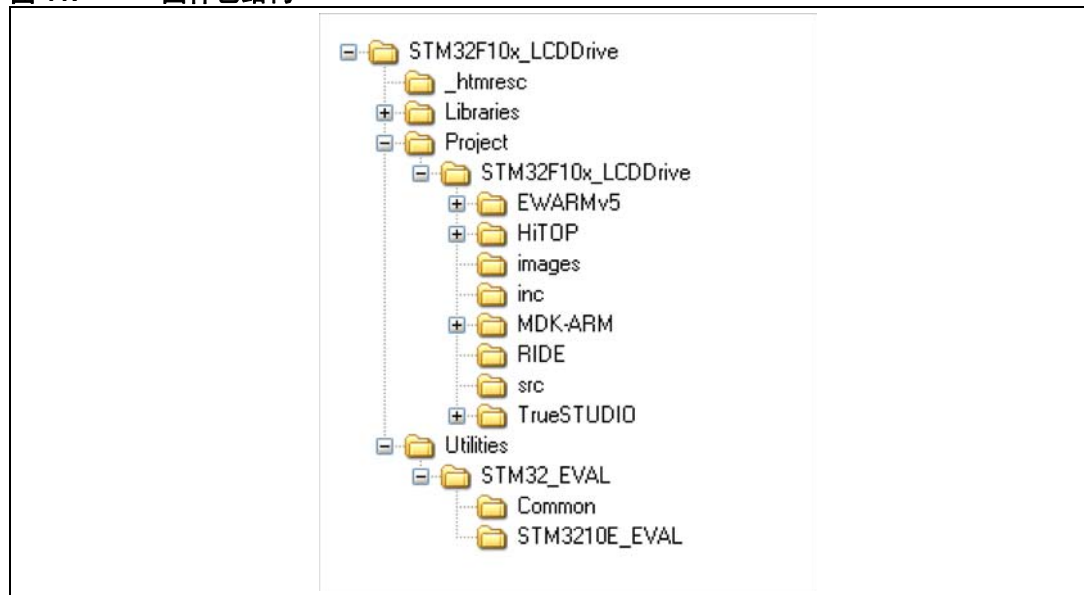
4 固件包

本应用笔记相关的固件包括使用 STM32F103ZE 器件对直接驱动 TFT (CT05350DW0000T) 的演示。源代码样例基于 STM32F10xxx 标准外设库 V3.3.0。

用户可使用相同的库和驱动、不同的接口固件 / 硬件生成任何类似的应用。

固件包的安装目录如 [图 11](#) 中所示。

图 11. 固件包结构



库

库目录包含所有子目录和文件，组成了 STM32F10xxx 标准外设库 V3.3.1 的核心：

CMSIS

- CM3\CoreSupport: 包含 Cortex-M3 文件
- CM3\DeviceSupport\ST\STM32F10x: 包含 STM32F10x CMSIS 层文件。

STM32F10x_StdPeriph_Driver

- inc 子目录: 包含标准外设库头文件
- src 子目录: 包含标准外设库源文件

工程

STM3210x-LCDDrive

Images: 包含位图图片 Image.dfu 文件。

EWARMv5: 包含为 EWARM 工具链预配置的项目

ARM-MDK: 包含为 RVMDK 工具链预配置的项目

HiTOP: 包含为 HiTOP 工具链预配置的项目

RIDE: 包含为 RIDE 工具链预配置的项目

TrueSTUDIO: 包含为 attolic 工具链预配置的项目

- **inc** 子目录: 包含 TFT-LCD 驱动和演示头文件:
 - lcd_driver.h: 包含驱动无控制器 TFT-LCD 的基本函数原型。它还包含遵循 TFT 规范的 TFT-LCD 可配置参数。
 - backlight_control.h: 包含用于控制 TFT 背光的基本函数原型。
 - main.h: 此文件包含 main.c 文件的原型
 - stm32f10x_it.h: 包含中断处理程序的头。
 - stm32f10x_conf.h: 微控制器库配置文件
- **src** 子目录: 包含 TFT-LCD 驱动和演示源文件:
 - lcd_driver.c: 它包含驱动无控制器 QVGA TFT-LCD 的基本程序, 包括 FSMC、GPIO 引脚和 DMA 配置
 - backlight_control.c: 包含用于控制 TFT-LCD 背光的基本函数。
 - mainc.c: 初始化 TFT-LCD 驱动演示
 - stm32f10x_it.c: 包含 LCD 驱动中使用的所有外设中断服务程序, 为所有异常处理程序提供模板。

Utilities

STM3210E-EVAL: 包含 STM3210E-EVAL 板相关的驱动

4.1 固件安装

本应用笔记相关的固件针对 STM3210E-EVAL 评估板和 STEVAL-CCM002V1 子板构建。

在硬件设置和固件编程成功后, STEVAL-CCM002V1 评估板的 TFT-LCD 上开始显示位图图片。

默认选择为横幅广告显示模式。

按下 STM3210E-EVAL 评估板上连接至 PB3 的 Key 按钮, 可切换至幻灯片展示显示模式。

演示图片

当固件初始化时, 固件会将 16 位位图图片从 NOR 存储器复制到板上外部 SRAM。之后, 仅需从外部 SRAM 刷新 TFT-LCD 上的图片。

默认情况下，这些图片编程于 MB672 STM3210E- EVAL 评估板的 NOR 存储器中。若图片不在 NOR 存储器中，则可使用 USB DFU 固件方便地将图片编程到 NOR 存储器。若需板子和 NOR 编程的更详细信息，请参考 www.st.com 上的 UM0549 用户手册。

USB DFU 固件和 DFU 图片文件可从意法半导体网站下载：www.st.com。

4.2 如何配置 QVGA TFT-LCD 参数

可定制 LCD 驱动以支持其他类型的 QVGA LCD。可更新的 QVGA LCD 参数为前沿、后沿周期或帧频率，以及用于 VSYNC、HSYNC、TFT 功控和背光的 I/O 引脚。

这些可配参数定义于 lcd_driver.h 和 backlight_control.h 头文件中。

TFT LCD 驱动可方便地移植到其它硬件。[表 4](#) 说明了可配的 TFT-LCD 参数。

表 4. QVGA TFT-LCD 驱动可配参数

QVGA TFT-LCD 参数	说明
#define LCD_FRAME_FRONT_PORCH	帧前沿值
#define LCD_FRAME_BACK_PORCH	帧后沿值
#define LCD_LINE_FRONT_PORCH	线前沿值
#define LCD_LINE_BACK_PORCH	线后沿值
#define SRAM_IMAGE1_ADDR	帧缓冲中第一个图片的地址
#define SRAM_IMAGE2_ADDR	帧缓冲中第二个图片的地址
#define FRAME_RATE	帧频率值（可为 40 Hz 或 19 Hz）
#define SLIDESHOW_TIME_GAP	幻灯片展示时间值，单位为秒
#define TFT_VSYNC_GPIO_PIN	GPIO 引脚：GPIO_Pin_8
#define TFT_VSYNC_GPIO_PORT	GPIO 端口：GPIOA
#define TFT_HSYNC_GPIO_PIN	GPIO 引脚：GPIO_Pin_6
#define TFT_HSYNC_GPIO_PORT	GPIO 端口：GPIOC
#define LCD_BL_GPIO_PIN	GPIO 引脚：GPIO_Pin_6
#define LCD_BL_GPIO_PORT	GPIO 端口：GPIOB



5 结论

STM32 外设的用途广泛，在本例中得到了很好的使用，简化并降低了基于 TFT-LCD 应用的成本。STM32 与其强大的 DMA 控制器和高度灵活的 FSMC 外设共同使用，为驱动 QVGA TFT-LCD 提供了一个节约成本的解决方案，其静态图片显示仅占用 1% CPU 负荷。

6 修订历史

表 5. 文档修订历史

日期	修订	变更
2010 年 7 月 16 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。

© 2015 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

