

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

# МАСТЕРА ГРАФИКИ: НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ STM32F4 С ПОДДЕРЖКОЙ КОНТРОЛЛЕРА TFT



Семейство высокопроизводительных микроконтроллеров STM32F4 пополнилось новыми представителями, имеющими расширенные графические возможности. Новые контроллеры **STM32F4x9**, помимо высокопроизводительного ядра ARM Cortex-M4, работающего на частоте до 180 МГц, обладают интегрированным TFT-LCD-контроллером, графическим ускорителем Chrom-ART, поддержкой динамической памяти SDRAM и последовательным аудиоинтерфейсом SAI.

Существует огромное количество областей, требующих графического интерфейса с пользователем.

В промышленности это — пульта операторов станков ЧПУ, пульта управления технологическими процес-

сами и др.; в системах «Умный дом» и системах безопасности — центральные модули систем безопасности, панели управления климат-контролем (HVAC); в медицине — портативные медицинские приборы (глюкометры, манометры, измерители холестерина), систе-

мы искусственной вентиляции легких, комплексные системы мониторинга; в потребительской электронике — панели управления бытовой техникой, игрушки; в торговле — точки оплаты, банкоматы, сканеры; в автомобильной электронике — музыкальные системы, бортовые компьютеры, панели приборов и т.д.

Одним из самых распространенных типов дисплеев является TFT-LCD.

Начиная с линейки **STM32F103x**, взаимодействие с цветными LCD-дисплеями осуществлялось при помощи аппаратных периферийных блоков (FSMC, SPI). Такой подход давал существенное преимущество в бюджетных

Базовый набор периферии
ART Accelerator
Схемы POR/PDR/PVD
Внешние резонаторы 32кГц и 4-26МГц
Внутренние RC-генераторы 32кГц и 16МГц
ФАПЧ (PLL)
Схема сброса и тактирования (RCC)
Системный таймер (SysTick Timer)
DMA
GPIO
CRC
Схема автопробуждения (AWU)
Оконный сторожевой таймер (WWDG)
Независимый сторожевой таймер (IWDG)
16-битные таймеры
2x 32-битные таймеры
Часы реального времени (RTC)
JTAG/SWD/ETM
SPI
I2S
I2C
USART
USB 2.0
12-битные АЦП (2,4MSPS)
96-Битный ID
FSMC*
12-битные ЦАП*
CAN 2.0B*
Генератор случайных чисел (RNG)*

### Линейка STM32F401

Cortex-M4 84МГц	Flash до 256КБ	ОЗУ до 64КБ	Сокращенный Базовый набор периферии*
--------------------	-------------------	----------------	--------------------------------------

### Линейка STM32F405/415

Cortex-M4 168МГц	Flash до 1МБ	ОЗУ до 192+4КБ	Базовый набор периферии	Блок Криптографии (STM32F415)
---------------------	-----------------	-------------------	-------------------------	-------------------------------

### Линейка STM32F407/417

Cortex-M4 168МГц	Flash до 1МБ	ОЗУ до 192+4КБ	Базовый набор периферии	Ethernet (с IEEE1588)	Интерфейс цифровой камеры	Блок Криптографии (STM32F417)
---------------------	-----------------	-------------------	-------------------------	-----------------------	---------------------------	-------------------------------

### Линейка STM32F427/437

Cortex-M4 180МГц	Flash до 1МБ	ОЗУ до 192+4КБ	Базовый набор периферии	Ethernet (с IEEE1588)	Интерфейс цифровой камеры	FMC (поддержка SDRAM)	SAI	Блок Криптографии (STM32F437)
---------------------	-----------------	-------------------	-------------------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------	-----	-------------------------------

### Линейка STM32F429/439

Cortex-M4 180МГц	Flash до 2МБ	ОЗУ до 256+4КБ	Базовый набор периферии	Ethernet (с IEEE1588)	Интерфейс цифровой камеры	FMC (поддержка SDRAM)	SAI	Контроллер TFT-LCD	Chrom-ART Accelerator	Блок Криптографии (STM32F439)
---------------------	-----------------	-------------------	-------------------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------	-----	--------------------	-----------------------	-------------------------------

\* - Отсутствуют в STM32F401

Рис. 1. Семейство микроконтроллеров STM32F4

Таблица 1. Контроллеры STM32F4x9 со встроенным драйвером TFT-LCD-дисплеев

Наименование	Корпус	Flash, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Особенности	Питание, В	Диапазон температур, °С
<b>STM32F429BG</b>	LQFP 208 28x28x1.4	1024	256	ARM Cortex-M4 180 МГц TFT-LCD-контроллер Графический ускоритель Chrome-ART (DMA2D) Последовательный аудиоинтерфейс (SAI) Поддержка динамической памяти SDRAM	1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429BI</b>	LQFP 208 28x28x1.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429IG</b>	BGA 176; LQFP 176 24x24x1.4	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429II</b>	BGA 176; LQFP 176 24x24x1.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429NG</b>	TFBGA 13X13X1.2 216L P 0.8	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429NI</b>	TFBGA 13X13X1.2 216L P 0.8	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429VG</b>	LQFP 100 14x14x1.4	1024	256		1,8...3,6	-40...85
<b>STM32F429VI</b>	LQFP 100 14x14x1.4	2048	256		1,8...3,6	-40...105
<b>STM32F429ZG</b>	LQFP 144 20x20x1.4	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F429ZI</b>	LQFP 144 20x20x1.4; WLCSP 143 BALLS DIE 419 P 0.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439BG</b>	LQFP 208 28x28x1.4	1024	256	ARM Cortex-M4 180 МГц TFT-LCD-контроллер Графический ускоритель Chrome-ART (DMA2D) Последовательный аудиоинтерфейс (SAI) Поддержка динамической памяти SDRAM Блок криптографии и шифрования	1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439BI</b>	LQFP 208 28x28x1.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439IG</b>	BGA 176; LQFP 176 24x24x1.4	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439II</b>	BGA 176; LQFP 176 24x24x1.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439NG</b>	TFBGA 13X13X1.2 216L P 0.8	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439NI</b>	TFBGA 13X13X1.2 216L P 0.8	2048	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439VG</b>	LQFP 100 14x14x1.4	1024	256		1,8...3,6	-40...85
<b>STM32F439VI</b>	LQFP 100 14x14x1.4	2048	256		1,8...3,6	-40...85
<b>STM32F439ZG</b>	LQFP 144 20x20x1.4	1024	256		1,7...3,6	-40...85
<b>STM32F439ZI</b>	LQFP 144 20x20x1.4; WLCSP 143 BALLS DIE 419 P 0.4	2048	256		1,7...3,6	-40...85

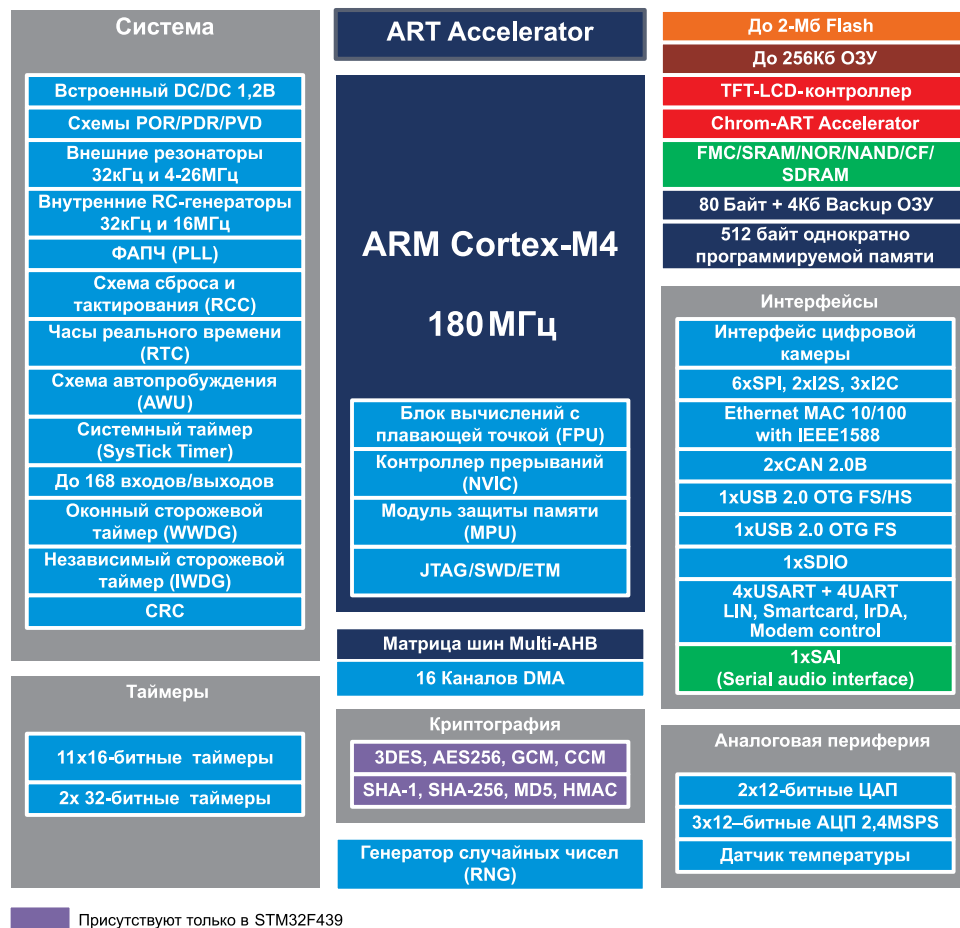


Рис. 2. Особенности новых контроллеров STM32F429/STM32F439

приложениях. Однако были и ограничения, связанные в первую очередь с тем, что при необходимости получения динамических картинок либо при обработке изображений процессор оказывался практически полностью загруженным.

**STM32F4x9** — первые контроллеры семейства **STM32F4** с интегрированным TFT-LCD-контроллером и графическим ускорителем Chrom-ART. Такое сочетание позволяет значительно снизить нагрузку процессора и штатного DMA при обработке изображений. Стоит отметить, что в настоящий момент ни один из конкурентов STM32F4x9 не имеет аппаратной поддержки такого широкого набора функций (залитка прямоугольной области, копирование прямоугольной области, копирование с преобразованием формата цвета пикселей, смешивание двух слоев и др.).

Помимо расширенных графических возможностей, особенностями STM32F4x9 являются: высокоскоростной процессор ARM Cortex-M4, работающий на частоте до 180 МГц, последовательный аудиоинтерфейс Serial Audio Interface (SAI) и поддержка динамической памяти SDRAM.

#### Семейство высокопроизводительных контроллеров STM32F4

Контроллеры семейства STM32F4 построены на базе процессора ARM

Cortex-M4, который представляет собой высокопроизводительный 32-битный RISC-процессор с поддержкой инструкций цифровой обработки сигналов (DSP) и вычислений с плавающей точкой. Для оптимизации работы с памятью контроллеры семейства снабжены ускорителем (ART Accelerator).

Для разных линеек семейства максимальная рабочая частота ядра различна, кроме того, отличается и набор периферийных блоков. В настоящий момент в семейство микроконтроллеров STM32F4 входит несколько линеек (рисунок 1).

**STM32F401.** Младшая линейка семейства имеет самый скромный набор периферии, но в то же время – самую низкую цену. Контроллеры построены на ядре ARM Cortex-M4 с рабочей частотой до 84 МГц.

**STM32F405/415.** Базовая линейка семейства. В основе этих контроллеров лежит ядро ARM Cortex-M4 с рабочей частотой до 168 МГц. STM32F415 имеет дополнительные возможности криптографии и шифрования данных.

**STM32F407/417.** Линейка с высокопроизводительным ядром ARM Cortex-M4 168 МГц и расширенным набором периферии (Ethernet, параллельный интерфейс видеокмеры).

**STM32F427/437.** Линейка с повышенной производительностью. Ядро ARM Cortex-M4 этих контроллеров способно работать на частотах до 180 МГц. Набор периферии расширен за счет последовательного аудиоинтерфейса SAI. Кроме того, вместо контроллера внешней статической памяти Flexible static memory controller (FSMC) появился контроллер внешней памяти Flexible memory controller (FMC), который поддерживает работу с динамической памятью SDRAM.

**STM32F429/439.** Линейка обладает высокопроизводительным ядром ARM Cortex-M4 180 МГц и включает расширенную периферию для работы с графикой: аппаратный контроллер TFT-LCD-дисплеев, графический ускоритель Chrom-ART (DMA2D).

Контроллеры **STM32F429/STM32F439** (таблица 1) в настоящий момент обладают максимальной производительностью и самым широким набором периферии (рисунок 2).

Как было сказано выше, от предыдущих линеек STM32F4x9 отличаются рядом особенностей.

- ARM Cortex-M4 работает на частоте 180 МГц, достигая производительности 210 DMIPS.

- Объем памяти расширен: до 2 Мбайт (Flash), и до 256 кбайт (ОЗУ).

- Появилась новая периферия: интегрированный контроллер TFT-LCD-дисплеев, графический ускоритель Chrom-ART (DMA2D), последовательный аудиоинтерфейс SAI.

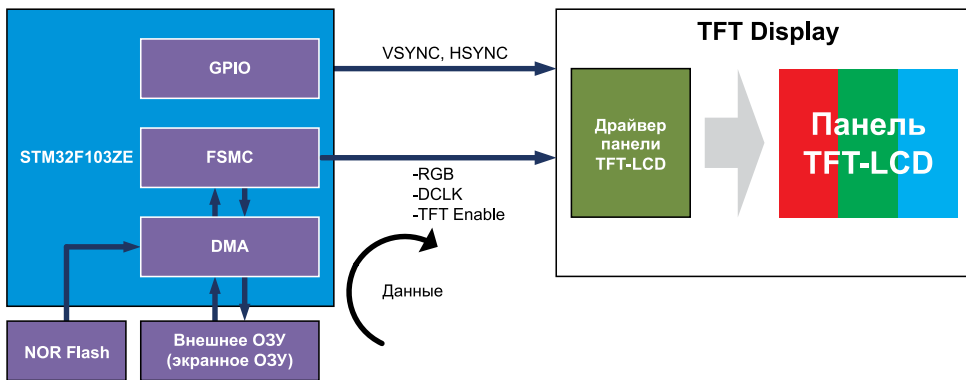


Рис. 3. Программная реализация RGB-интерфейса

- Контроллер внешней памяти Flexible memory controller (FMC) поддерживает динамическую память SDRAM.

Самым важным нововведением линейки является появление интегрированного контроллера TFT-LCD и графического ускорителя Chrom-ART (DMA2D). Конечно, контроллеры STM32 и раньше имели возможность управления TFT-LCD-дисплеями, но при этом существовали значительные ограничения. Рассмотрим более подробно преимущества нового подхода к построению графических приложений на базе STM32F4x9.

### Особенности графических приложений на базе STM32

Цветные LCD-панели требуют специализированного драйвера, который формирует аналоговые сигналы управления (рисунок 3). Управление самим драйвером может осуществляться с помощью различных интерфейсов. Одним из основных и широко распространенных является использование RGB-интерфейса.

До появления STM32F4x9 ни один контроллер STM32 не имел аппаратной поддержки RGB-интерфейса. Для взаимодействия с TFT-панелями компания STMicroelectronics предлагала два решения [1],[2].

**Вариант 1.** Прямая реализация RGB-интерфейса (рисунок 3). Контроллер эмулирует работу RGB-интерфейса посредством внутренней периферии [1]. Данный вариант может быть эффективно реализован для всех контроллеров STM32, имеющих FSMC (Flexible Static Memory Controller) [1].

Первоначальное изображение хранится во внешней Flash-памяти. Для вывода на дисплей изображение посредством DMA перемещается во внешнее ОЗУ, которое выполняет функции экранного слоя (или слоев). Изображение на дисплее обновляется непосредственно из этого ОЗУ.

Сигналы синхронизации VSYNC и HSYNC реализуются при помощи выходов общего назначения. В качестве шин данных (R, G, B) используются

сигналы FSMC [D0:D15]. Для сигнала DCLK удобно использовать FSMC WE в инверсном режиме.

Очевидны и достоинства, и недостатки данной реализации.

Достоинства: низкая стоимость реализации и малая занятость процессора при выводе статических изображений. Использование аппаратной периферии (DMA, FSMC) позволяет снизить загрузку процессора при статической картинке на экране до 1%.

Недостатки: невозможность получения сложных или динамических изображений. Действительно, так как отсутствуют аппаратные средства обработки изображений, то процессор тратит все вычислительные мощности на графику.

**Вариант 2.** Использование внешнего контроллера TFT-LCD [2]. Контроллер TFT-дисплея выполняет ряд функций: обменивается данными с микроконтроллером (по SPI, Intel 8080, Motorola 6800); хранит полученные данные, выполняя функции экранного ОЗУ; управляет драйвером TFT-панели по RGB-интерфейсу; выполняет некоторые функции обработки изображений (поворот/зеркальное отражение, определение активной области и др.).

Данный вариант может быть эффективно реализован для всех контроллеров STM32, имеющих FSMC (Flexible Static Memory Controller) [2]. Для дисплеев с большим разрешением иногда бывает недостаточно SPI-интерфейса.

Исходное изображение хранится во внешней Flash (рисунок 4). Изображение из Flash посредством FSMC-контроллера передается в TFT-LCD-контроллер. Как было сказано выше, сам TFT-LCD-контроллер выполняет функции экранного ОЗУ, поэтому нет необходимости во внешнем ОЗУ, как в предыдущем варианте.

Среди достоинств использования внешнего графического контроллера можно отметить: низкую стоимость конечного устройства, отсутствие внешнего ОЗУ, простоту реализации печатной платы.

Недостатки такие же, как и в варианте с прямой реализацией RGB-

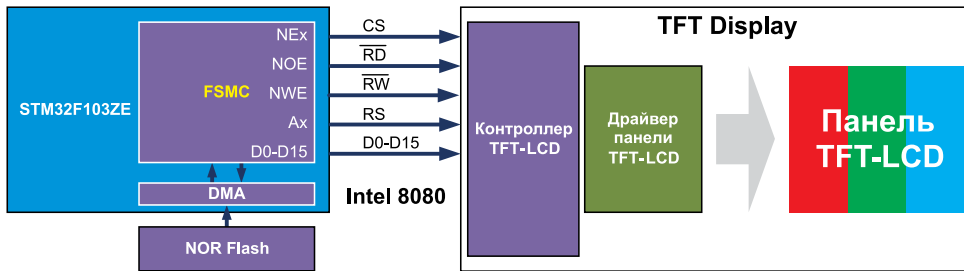


Рис. 4. Использование внешнего TFT-LCD-контроллера

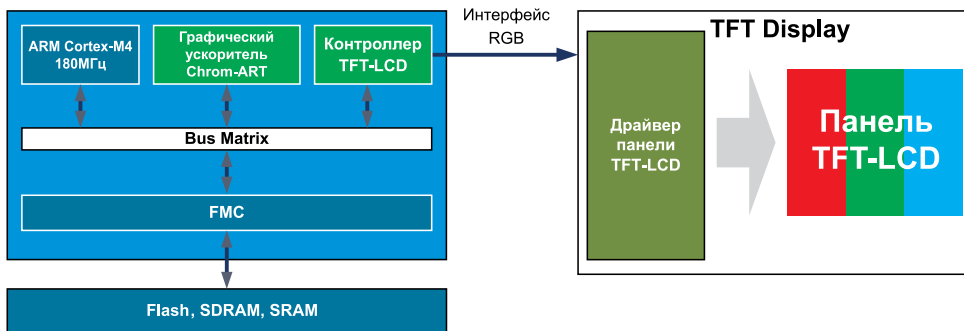


Рис. 5. Взаимодействие STM32F4x9 с TFT-дисплеем

интерфейса: малая пригодность для сложных и динамических изображений. Несмотря на то, что TFT-LCD-контроллер обладает некоторыми возможностями по обработке изображений, все же этого, как правило, оказывается недостаточно.

Таким образом, до появления STM32F4x9 можно было создавать несложные графические приложения, а главным недостатком была большая загрузка процессора при их обработке. В STM32F4x9 эта проблема была решена добавлением интегрированного многофункционального TFT-LCD-контроллера и графического ускорителя Chrom-ART.

Новые микроконтроллеры STM32F4x9 обладают эффективными инструментами обработки изображений: TFT-LCD-контроллером, графическим ускорителем Chrom-ART, контроллером внешней памяти FMC (Flexible external memory controller) (рисунок 5).

**Интегрированный TFT-LCD-контроллер (LTDC)** обеспечивает 24-битный RGB-интерфейс и все необходимые сигналы для взаимодействия непосредственно с TFT-LCD-панелями с разрешением до SVGA (640x480, 480 линий по 640 пикселей), и обладает следующими особенностями:

- два экранных слоя с буферами FIFO (64x32 бит);
- до восьми форматов цвета на каждый слой, включая: ARGB8888, RGB888, RGB565, ARGB1555, ARGB4444, L8, AL44, AL88;
- таблица цветов (Color Look-Up table) с поддержкой до 256 24-битных цветов на каждый слой;
- наличие гибкого инструментария обработки изображений;

- гибкая система параметров отображения экранных слоев;
- два вектора прерывания, четыре типа событий прерывания.

LTDC обладает гибкой системой настроек и инструментов для конфигурации глобальных параметров дисплея и параметров слоев.

#### Возможности LTDC по конфигурированию глобальных параметров.

- Программирование таймингов сигналов развертки для работы с различными дисплеями.
- Программирование полярности сигналов RGB-интерфейса.
- Программирование цвета заднего фона. Задний фон может быть использован для смешивания с основными экранными слоями.
- Использование дитеринга до двух бит для каждого цвета. Смысл дитеринга заключается в добавлении случайного шума к исходному сигналу. Это может быть использовано для получения глубины цвета, либо для снижения количества режущих глаз артефактов при смене изображений.

#### Возможности LTDC по конфигурированию параметров слоев.

LTDC содержит два экранных слоя. Каждый слой может быть независимо сконфигурирован как активный или неактивный. Верхним считается слой 2.

**Формат окна отображения** может быть задан в любой доступной области дисплея. При этом может использоваться вся площадь дисплея, либо только часть.

**Поддержка преобразования форматов цвета.** Исходные данные цвета пикселей хранятся в буфере FIFO в одном

из восьми форматов (см. выше). При выборке этот исходный формат преобразуется в формат ARGB (по особому алгоритму).

**Преобразование формата** может происходить с помощью таблицы цветов Color Look-Up Table (CLUT). Эта таблица используется для получения индексированных цветов в форматах L8, AL44 и AL88. При этом исходный цвет пикселя (красный, зеленый, синий) может быть преобразован с использованием цветов, хранящихся в CLUT.

**Смешивание слоев.** Слои могут смешиваться друг с другом и с задним слоем. Порядок смешивания фиксирован. В случае если оба слоя активны, смешивается сначала Слой 1 и задний фон, затем результат смешивается со Слой 2.

**Цвет слоя по умолчанию.** Каждый слой имеет цвет по умолчанию. Он используется при смешивании слоев, если слой неактивен.

**Прозрачность.** Один из цветов может быть определен как прозрачный. После приведения форматов цветов, но до смешивания, цвет каждого пикселя сравнивается с «прозрачным» цветом. В случае совпадения значения цвета пикселя обнуляются. В результате цвет становится прозрачным. Данная технология носит название Color Keying. Она широко распространена на телевидении, в кино. Наиболее знаменитая ее форма — «Зеленый экран». В процессе съемки объект помещается на однотонный цветной фон (Зеленый экран). В дальнейшем на изображение вместо этого фона помещается другое изображение.

**Тактирование:** LTDC использует различные тактовые сигналы. Это необходимо для распараллеливания операций передачи данных и обработки изображения.

Для обмена между памятью и FIFO-буферами графических слоев используется шина AHB, работающая на частоте HCLK (до 180 МГц).

Конфигурирование регистров контроллера происходит как в обычной периферии — через мост APB2, работающий на частоте PCLK2.

Для формирования сигналов RGB-интерфейса используется специальный ФАПЧ (PLLSAI), он используется, в том числе, и для последовательного аудиоинтерфейса SAI. Независимый ФАПЧ позволяет переконфигурировать интерфейс RGB без влияния на частоту ядра, USB, Ethernet и др.

Помимо LTDC, в STM32F4x9 введен графический ускоритель, основная задача которого освободить процессор и контроллер от выполнения рутинных операций по обработке изображений: бит-битинг (копирование и наложение фрагментов изображений в памяти, VLock Image Transfer, BLIT), преобразование формата данных.

**Графический ускоритель ChromART (DMA2D)** представляет собой специализированный DMA, созданный для работы с графическими изображениями. DMA2D является мастером на шине АНВ и способен работать с различными форматами данных (8-/16-/32-битными). Особенности DMA2D являются:

- поддержка двух источников изображений с возможностью  $\alpha$ -смешивания;
- поддержка различных форматов цвета пикселей;
- использование таблицы цветов CLUT с программируемым размером;
- наличие внутреннего таймера для контроля пропускной способности АНВ;
- Четыре типа обмена: регистр-память, память-память, память-память с преобразованием формата цвета, память-память со смешиванием и с преобразованием формата цвета;
- прерывания по событиям: ошибка конфигурации, завершение обмена с CLUT, ошибка обмена с CLUT, достижение заданной позиции при передаче, завершение передачи данных, ошибка при передаче данных.

DMA2D выполняет ряд операций:

- заливка исходного изображения (или его части) заданным цветом;
- копирование исходного изображения (или его части) в заданную область конечного изображения;
- копирование исходного изображения (или его части) в заданную область конечного изображения с дополнительным преобразованием формата цвета пикселей.
- смешивание изображений (или их частей) с одинаковыми или различными форматами цветов пикселей и помещению в заданную область конечного изображения с дополнительным преобразованием формата цвета пикселей.

Дополнительную гибкость при построении графических приложений дает использование внешней памяти различных типов. Новый контроллер внешней памяти FMC способен поддерживать не только статическую память (NOR/PSRAM, NAND/PC Card memory), но и динамическую (SDRAM).

#### Обзор новых периферийных блоков семейства STM32F4x9

**Контроллер внешней памяти Flexible memory controller (FMC).** До появления STM32F4x9 семейство STM32F4 было оснащено контроллером внешней статической памяти FSMC. FSMC обеспечивал обмен данными между шиной АНВ и контроллерами памяти: NOR Flash/PSRAM, NAND Flash/PC Card.

В STM32F4x9 вместо FSMC реализован FMC. Главным его отличием является поддержка SDRAM-памяти.

Контроллер SDRAM-памяти обладает рядом особенностей.

• Поддержка двух банков SDRAM с независимой конфигурацией (адресация до 512 Мб).

- 8/16/32-битная шина данных.
- Частота тактирования HCLK/2, HCLK/3 (HCLK может быть до 180 МГц).
- Программируемые тайминги.
- Автоматическая регенерация с возможностью задачи периода обновления.
- Режимы пониженного потребления: режим самообновления и режим Power-down.

Поддержка SDRAM расширяет возможности STM32F4 в областях с высокими требованиями к памяти, например: графические приложения, мультимедийные приложения и др.

**Последовательный аудиointерфейс SAI.** Во всех представителях семейства STM32F4 реализованы два аудиointерфейса I<sup>2</sup>S (Inter-integrated sound), мультиплексированные с SPI2 и SPI3. Они могут работать в режиме ведущего или ведомого, в полнодуплексном и симплексном обмене, с разрешением 16/32 бита. Каждый из двух I<sup>2</sup>S может обслуживаться с помощью DMA.

В дополнение к I<sup>2</sup>S, STM32F4x9 имеют последовательный аудиointерфейс SAI (Serial Audio interface). Благодаря гибкости настроек и конфигураций, SAI может поддерживать различные моно/стерео аудиопротоколы: I<sup>2</sup>S (LSB и MSB), PCM/DSP, TDM, AC'97, SPDIF.

SAI содержит контроллер выходов/выходов и два аудиоблока. Каждый аудиоблок имеет:

- независимый тактовый генератор;
- 32-битный сдвиговый регистр со своим автоматом состояний;
- буфер FIFO, который может заполняться как процессором, так и через DMA;
- регистры конфигурации.

Контроллер входов/выходов управляет выходами SAI: SD, SCK, FS, MCLK. Если аудиоблоки синхронизированы между собой, то контроллер сокращает число используемых выводов, освобождая по одному выводу FS, SCK и MCLK, которые могут использоваться как выходы общего назначения.

Аудиоблоки могут настраиваться как передатчики, как приемники, работать как ведущими, так и ведомыми. Режим ведущего подразумевает, что сигнал тактирования SCK и сигнал синхронизации кадров генерируются SAI, в то время как в режиме ведомого их генерирует внешнее ведущее устройство.

Для нужд аудиоприложений имеется аудиоФАПЧ (Audio PLL, PLLI2S). Он используется I<sup>2</sup>S и SAI.

Наличие независимого аудиоФАПЧ позволяет разделить работу ядра, USB, Ethernet и аудиоприложений. При изменении настроек PLLI2S, нет необхо-

димости менять настройки основного ФАПЧ, который обеспечивает тактирование ядра, USB и Ethernet.

Как было сказано выше, помимо тактового сигнала от PLLI2S, поток данных I<sup>2</sup>S и SAI может синхронизироваться от внешнего тактового сигнала, получаемого от внешнего ЦАП/кодека.

Особенностью **STM32F42x/43x** является наличие дополнительного аудиоФАПЧ (Audio and LCD PLL, PLLSAI). С одной стороны этот ФАПЧ позволяет получать точные значения частот дискретизации 44,1 кГц, 22,05 кГц, 11,025 кГц. С другой стороны, он позволяет использовать частоту, не связанную с частотой I<sup>2</sup>S. В результате есть возможность одновременной работы с различными частотами. Например, I<sup>2</sup>S работает с частотой квантования 48 кГц (DVD, DAT), а SAI работает на 44,1 кГц (CD).

#### Описание средств разработки и отладки контроллеров семейства STM32F4

Одной из причин популярности контроллеров STMicroelectronics является доступность и многообразие средств разработки и отладки – инструментов разработки и отладки ПО, готовых программных решений и библиотек, стартовых и оценочных наборов.

**Среды разработки и отладки программного обеспечения.** Существует большое количество сред разработки и отладки ПО для **STM32F4** (Keil uVision, IAR, Atholic, CrossWorks). Каждая из сред дает программисту возможность не только создавать ПО, но и отлаживать



Рис. 6. Стартовый комплект STM32F429I-DISCO



Рис. 7. Оценочный набор STM32429I-EVAL



Рис. 8. Оценочный набор STM32439I-EVAL

его с помощью симуляторов, использовать различные программаторы и отладчики, и многое другое.

**Готовые программные решения для STM32F4.** STMicroelectronics и более чем 30 сторонних фирм предлагают большой набор программного обеспечения и готовых библиотек. Все готовые программные решения можно разделить на три уровня: уровень аппаратного программного обеспечения, уровень служебного ПО и уровень прикладного ПО.

Уровень аппаратного ПО включает в себя бесплатную стандартную библиотеку периферийных блоков от STMicroelectronics, библиотеку цифровой обработки сигналов (DSP), библиотеку криптографии и шифрования от STMicroelectronics.

Служебное ПО представлено большим количеством решений: операционные системы (ОС), библиотеки USB, стеки протокола TCP/IP для STM32. Стоит особо выделить графическую библиотеку STemWin, основанную на библиотеке emWin от SEGGER.

STemWin представляет собой профессиональное решение, позволяющее строить графические приложения на

базе любого контроллера STM32, любого TFT- или LCD-дисплея с различными типами TFT-LCD-контроллеров, реализуя все аппаратные преимущества STM32. STemWin включает все необходимые средства и инструменты, такие как симулятор, дизайнер приложений и др.

Уровень прикладного ПО включает в себя огромное количество библиотек и готовых решений, таких как аудиокодеки музыкальных форматов (MP3, WMA и др.), голосовые кодеки (G726, G711, G729, G722 и др.), полный набор программных решений для реализации промышленных интерфейсов: Profinet, EtherCAT, Modbus, DeviceNet, CANopen.

**Стартовые и оценочные наборы STM32F4.** Существует несколько наборов разработчика от STMicroelectronics: **STM32F429I-DISCO**, **STM32429I-EVAL**, **STM32439I-EVAL**.

Комплект 32F429IDISCOVERY (рисунок 6) позволяет быстро начать работу с **STM32F429** и оценить по достоинству всю мощь производительности данного семейства. Особенности данного набора являются:

- контроллер **STM32F429ZIT6** – 2 Мбайт Flash, 256 кбайт ОЗУ;
- реализованный на плате программатор/отладчик ST-LINK/V2 (с возможностью независимой работы);
- возможность питания платы от USB либо от внешнего источника 3...5 В;
- дисплей 2,4" QVGA TFT-LCD с сенсорным экраном;
- 64 Мбайт SDRAM;
- 3-осевой гироскоп **L3GD20**;
- восемь светодиодов: индикация подключения USB (LD1), индикация питания 3,3 В (LD2), два пользовательских светодиода, индикация USB OTG (LD3, LD4), индикация внешнего питания (LD5), и светодиод перегрузки по току (LD6);

- две кнопки (пользовательская кнопка и кнопка сброса);
- разъем micro-AB для USB OTG;
- штыревые разъемы для доступа к выводам контроллера.

STM32429I-EVAL (рисунок 7) представляет собой оценочный набор, демонстрирующий возможности **STM32F429**. Кроме того, он может быть использован как готовый блок в составе других устройств. Набор имеет следующие особенности:

- контроллер **STM32F429N1H6**;
- дисплей 4,3" color TFT-LCD с резистивным сенсорным экраном (480x272 пикселей);
- различные способы питания платы: от внешнего источника 5 В, от ST-LINK/V2 USB, от разъемов USB, от дочерних плат;
- разъем для SAI;
- цифровой стереомикрофон и разъем для подключения микрофона;

- интерфейс подключения MicroSD;
- EEPROM подключенная к I<sup>2</sup>C;
- разъемы интерфейса RS-232;
- приемопередатчик IrDA;
- разъемы подключения JTAG/SWD и ETM;
- реализованный на плате программатор/отладчик ST-LINK/V2;
- разъем Ethernet;
- модуль камеры;
- память 8 Мбайт x 32-бит SDRAM, 1 Мбайт x 16-бит SRAM, 8 Мбайт x 16-бит NOR Flash;
- четырехосевой джойстик;
- четыре кнопки;
- четыре светодиода;
- разъемы подключения дочерних плат;
- разъемы Micro-AB для USB OTG HS и FS;
- часы реального времени с разъемом для батарейки;
- разъемы для CAN2.0A/B;
- потенциометр;
- разъем для управления двигателем.

Оценочный набор STM32439I-EVAL (рисунок 8) в целом повторяет функционал набора STM32429I-EVAL, но имеет несколько отличий:

- контроллер **STM32F439N1H6**;
- дисплей 5,7" TFT-LCD с емкостным сенсорным экраном (480x272).

### Закключение

Новые высокопроизводительные контроллеры STM32F4x9 имеют возможность прямого взаимодействия с TFT-дисплеями по интерфейсу RGB. Интегрированный графический ускоритель Chrome ART позволяет освободить процессор от рутинных вычислений при работе с графикой. Дополнительным преимуществом графических приложений на базе этих контроллеров является рекордное быстродействие ядра Cortex-M4, работающего на частоте до 180 МГц, и поддержка памяти SDRAM.

Наличие средств разработки позволяет быстро изучить особенности новой линейки, а наличие большого количества готовых решений дает возможность сократить разработку собственных устройств.

### Литература

- AN3241 Application note. QVGA TFT-LCD direct drive using the STM32F10xx FSMC peripheral
- AN2790 Application note TFT LCD interfacing with the high-density STM32F10xxx FSMC
- Документация на компоненты [www.st.com](http://www.st.com).

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [mcu.vesti@compel.ru](mailto:mcu.vesti@compel.ru)