
**使用 STM32L1xx 微控制器与外部 I2S 音频编解码器
播放音频文件**

前言

本应用笔记说明了如何利用外部编解码器（参考 STSW-STM32135），使用 STM32L1xx I²S 接口播放音频文件。

I²S 协议广泛用于从微控制器 /DSP 到音频编解码器传输音频数据，以播放（储存于存储器中的）音乐，或者（从麦克风）捕获模拟声音。

STM32L1xx 可使用 SPI 外设进行 I²S 音频通信，并为此通信模式实现了特定的功能。

高级用户可跳过本应用笔记前面的部分。

注：在本文中，除非特别说明，I²S 一词指 STM32L1xx 微控制器中实现的 SPI 外设的 I²S 特性。

目录

1	I²S 一般说明	3
1.1	I ² S 协议	3
1.2	STM32L1xx I ² S 特性讲解	4
2	实现示例	6
2.1	概述	6
2.2	硬件说明	6
2.2.1	音频编解码器	7
2.2.2	STM32L1xx 和板配置	9
2.3	固件说明	10
2.3.1	Stm32l152d_eval_audio_codec 驱动固件说明	10
2.4	演示固件说明	12
3	修订历史	13

1 I²S 一般说明

1.1 I²S 协议

I²S（集成电路内置音频总线）是音频数据传输标准，它使用三线总线进行串行和同步数据传输。

数据在 SD（串行数据）线上传输，格式为小端序（先传 MSB）。数据长度不受限制（通常为 16/20/24/32 位）。发送器数据通过 SCK（串行时钟）的上升沿或下降沿同步，接收器用 SCK 的下降沿。请参见图 1。

数据表示的是立体声数字音频，所以每个采样包含两个字——右声道采样和左声道采样。它并不使用两个数据通道，而是执行复用，在半个采样周期传输一个字，这样就将采样率加倍，可在每周期传输两个字。

它使用控制信号 WS（字选择）确定正在发送的字是右声道还是左声道。此信号还决定了数据的开始和结束：因此无需固定数据长度。因此，接收器和发送器数据长度可以不同，右声道和左声道数据长度也可以不同。

WS 同步到 SCK 的上升沿或下降沿，比 MSB 早一个 SCK 周期，以便有足够时间做储存和移位运算。

与大多数通信协议一样，必须有主设备和从设备。主设备提供并控制 SCK 时钟和 WS 信号，从设备仅发送或接收数据。主设备可以是接收器、发送器或第三设备（控制器）。请参见图 2。

图 1. I²S 飞利浦协议波形 16/32 位

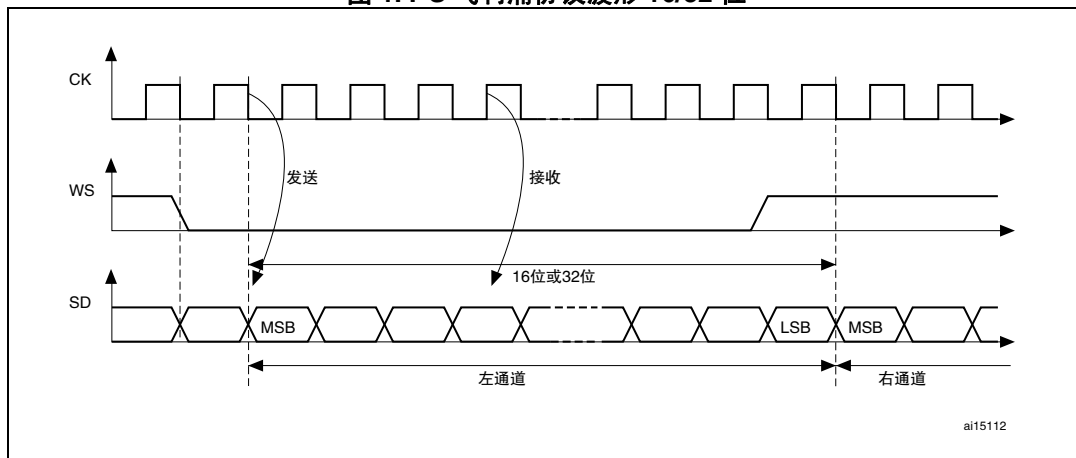
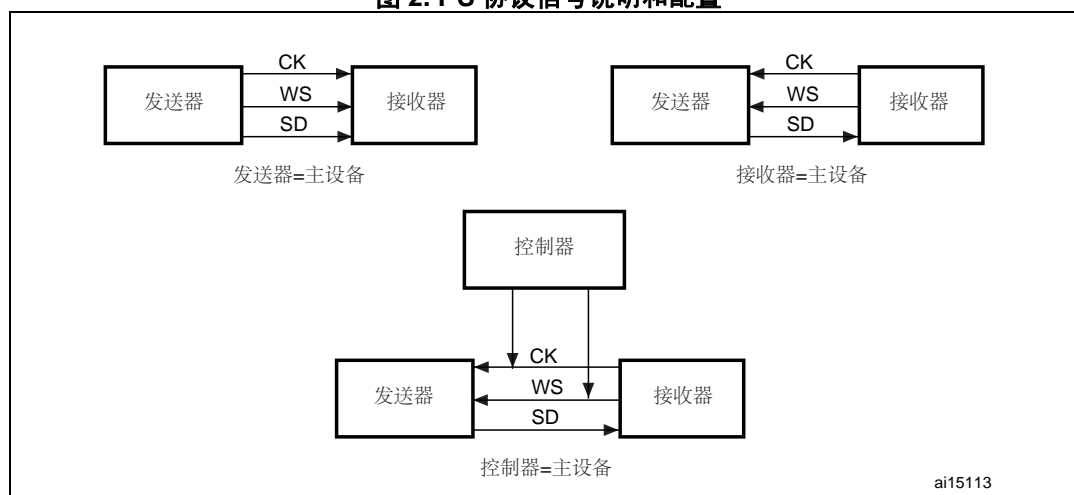


图 2. I²S 协议信号说明和配置

1.2 STM32L1xx I²S 特性讲解

STM32L1xx 将 I²S 特性实现为 SPI 外设的一个模式。用户必须选择 SPI 模式或 I²S 模式（软件配置）。

STM32L1xx I²S 仅有单工模式（仅接收或仅发送），通信方向由软件配置。

I²S 外设支持四种音频协议（可由软件配置）：

- I²S 飞利浦协议
- MSB 协议
- LSB 协议
- PCM 协议（包括 PCM 短帧和 PCM 长帧）

它还支持大多数音频频率（8 kHz、16 kHz、22.05 kHz、32 kHz、44.1 kHz、48 kHz 等）

数据格式可编程为 16、24 或 32 位数据长度（每通道），MSB 在前，以及 16 或 32 位包长度（每通道）。

WS 信号的分配由硬件管理，并有一个相应的标志位（CHSIDE）监控通道侧（仅飞利浦、MSB 和 LSB 标准）。

I²S 外设可配置为音频通信中的主设备或从设备。I²S 使用 9 位预分频生成其自身时钟（独立于寄存器与 APB 总线接口所使用的 SPI 时钟），其设计可达到精确音频频率（8 kHz、16 kHz、22.05 kHz、44.1 kHz、32 kHz、48 kHz 等）^(a)。当配置为主模式时，外设能以固定速率输出额外的主时钟（MCLK）： $256 \times F_S$ （其中 F_S 为音频频率）。

a. 采样频率为位时钟频率（CK），等于：
 $F_S \times \text{每通道位数} \times \text{通道数}$ ，其中 F_S 为飞利浦、MSB、LSB 标准中的 WS 频率，以及 PCM 模式中的 WS/2 频率。

若需决定是否生成 MCLK，应考虑下述因素：

- 外部 I²S 器件的需要（编解码器 /DAC）。
一般来说，这些器件需要主时钟（一般速率为 $256 \times F_S$ ）以执行内部和采样工作。
- 在某些情况下，音频频率精度会因为启用 MCLK 输出而下降。

可使用下述方式中的一种控制音频通信：

- 通过轮询 TXE/RXNE 标志（SPI_CR2 寄存器中的位 1/0）：等待 TXE/RXNE 标志置位，然后向 / 从 SPI_DR 寄存器写 / 读通道波形数据。（适合测试 / 小型应用等）
- TXE/RXNE 上的中断：配置并启用发送 / 接收中断。在中断子程序中，向 / 从 SPI_DR 寄存器写 / 读通道波形数据。（适合大多数应用 /RT 软件等）
- DMA 传输：配置 DMA，在每个 Rx/Tx 请求时从 / 向 SPI_DR 寄存器加载 / 卸载。（适合高性能需求。）

注：在 I²S 模式中，DMA 的用法与 SPI 模式完全相同（对于所支持的音频传输协议，I²S 模式中无法用 CRC 特性）。

SYSCLK 频率的选择直接影响 I²S 的传输质量（在主模式中）：采样时钟（CK）和 WS 时钟直接由 SYSCLK 用 9 位分频器得到，以获取最精确的 F_S 频率。为得到最大精度，预分频器允许奇数次除二（使用 SPI_I2SPR 寄存器中的 ODD 位）。

因为 SYSCLK 的低频率（最大 32 MHz），低精度因子时的分频值会导致音频质量下降。当 STM32L1xx I²S 外设主模式中生成主时钟时，精度因子会降低。请查阅参考手册（RM0038：STM32L100xx、STM32L151xx、STM32L152xx 和 STM32L162xx 基于 ARM[®] 的高级 32 位 MCU）根据目标采样频率确定音频频率精度。

2 实现示例

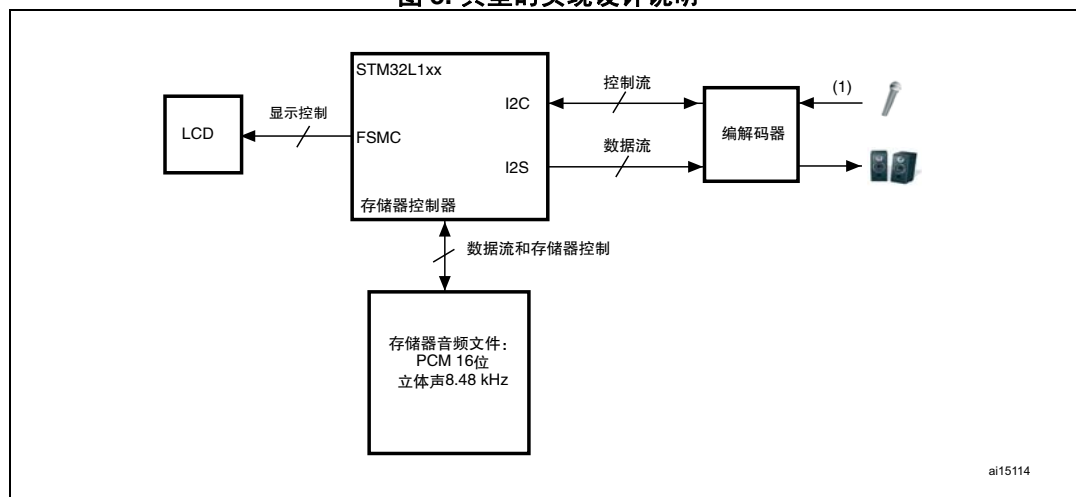
2.1 概述

本应用笔记中的样例旨在为便携式音频播放器、声音合成系统、语音记录仪、手机或交互式控制板等音频应用提供典型的硬件和软件实现基础。

一般来说，系统包括：

- 微控制器（STM32L1xx 器件）
- 音频编解码器
- 扬声器
- 存储器支持（储存音频文件）。

图 3. 典型的实现设计说明



1. 本应用笔记中不讨论音频输入功能（麦克风）。

因为本应用笔记中使用的音频编解码器需要接收主时钟输出，所以应用支持的音频文件格式为 PCM，16 位数据长度，立体声 / 单声道，8 到 32 kHz 音频频率。

2.2 硬件说明

一般要求

所开发的样例主要基于 STM32L152D-EVAL 评估板，但其功能和结构说明与大多数应用和平台类似。

储存音频文件的存储器为板上实现的 NOR 闪存。可配置不同的存储器 / 资源以支持音频文件（例如 SPI 闪存）。

用于与应用接口的其它板上资源：

- 音频编解码器：STM32L152D-EVAL 上实现的 CS43L22（见 [第 2.2.1 章节](#)），连至 I2S2 端口（及相关的无源元件），由 I2C1 接口控制。
- 立体声扬声器和音频插座，连至音频编解码器，在 STM32L152D-EVAL 上实现。
- 摇杆和按钮键：连至板上的 PG6、PG7、PG8、PG11 和 PG13 引脚。这些按钮用于控制音频流。
- LCD 屏幕：在 STM32L152D-EVAL 评估板上实现，由 FSMC 接口控制。

2.2.1 音频编解码器

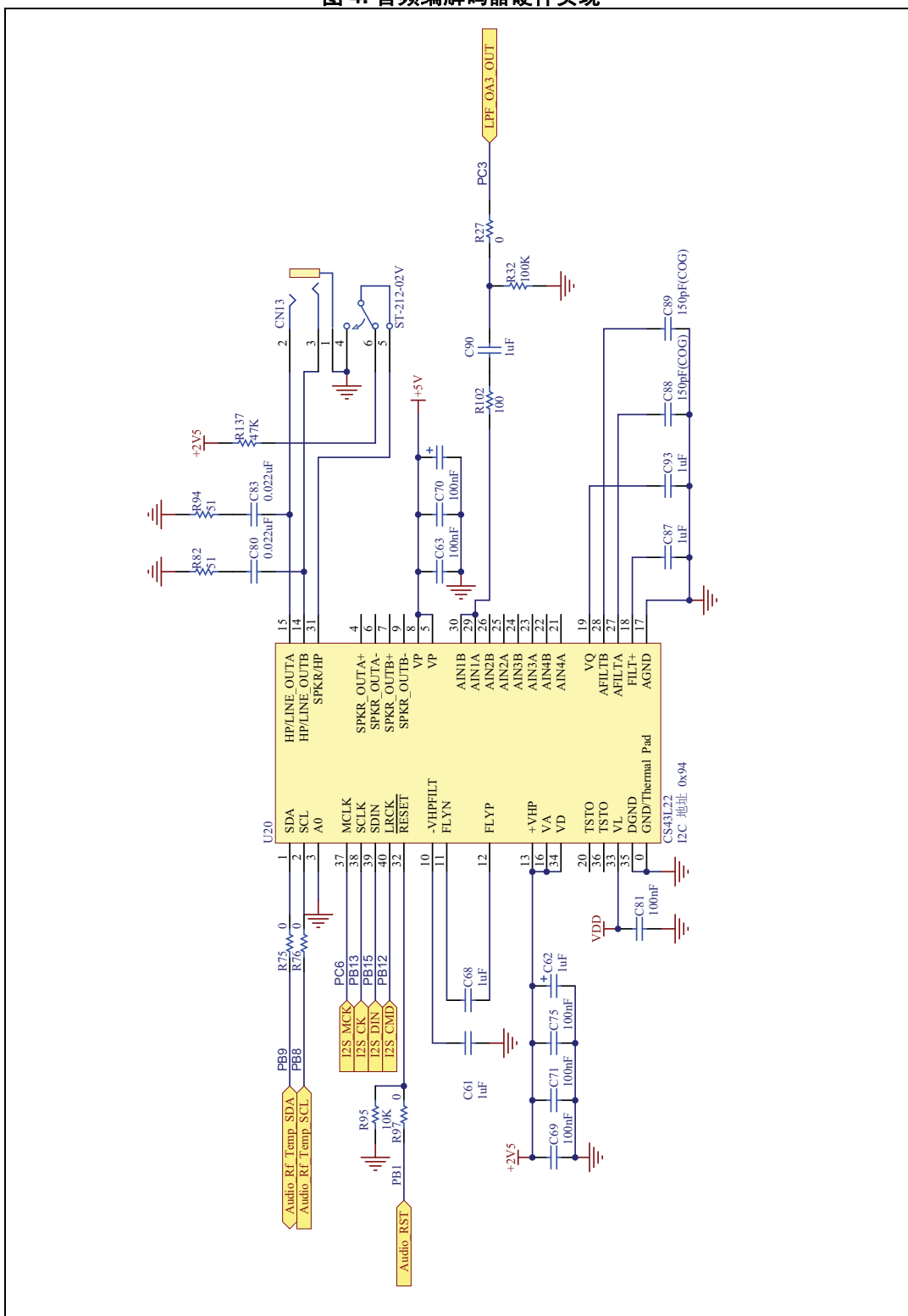
STM32L152D-EVAL 上实现的音频编解码器为 Cirrus Logic® 的 CS43L22。此编解码器可完成数字（使用 I²S 协议传输的 PCM 原始数据）到模拟的转换。音频参数化和编解码器配置通过 I²C 接口执行。编解码器有一系列配置寄存器，主要用于：

- 编程音频输出（扬声器或耳机）和输入（模拟输入或数字 I²S 数据等）。
- 选择从或主工作模式，为内部和采样工作设置参考时钟。
- 设置数字音量、静音状态等 ...

编解码器可工作在主或从模式。在本应用样例中，编解码器工作在从模式，STM32L152D-EVAL I²S 为主设备。

图 4 说明了硬件实现原理图以及编解码器如何连至 STM32L1xx 和板元件。

图 4. 音频编解码器硬件实现



本应用笔记使用的默认编解码器配置为：

- I²S 标准：I²S 飞利浦（可改为 MSB 或 LSB 标准）
- 由 STM32L152ZD(T6) 微控制器提供 MCLK，时钟频率为 $256 \times F_S$ （采样频率）。
- 编解码器自动检测耳机或扬声器。

编解码器配置步骤

调用名为 `Codec_Init` 的函数，初始化这些不同的步骤。

- 配置 GPIO，将 I2S2、I2C（时钟 + 数据）连至音频编解码器。
- 在完成编解码器的掉电 / 上电时序后，对其寄存器进行复位。
- 配置 I²C，初始化音频编解码器控制接口。
- 在编解码器初始化过程中，保持编解码器为关机模式：
 - 通过写入地址为 0x04 的电源控制 2 寄存器，自动检测耳机或扬声器。
 - 通过写入地址为 0x06 的接口控制 1 寄存器，选择从模式和 I²S 标准协议。
 - 配置地址为 0x20 和 0x21 的主音量控制寄存器，进行音量控制。
 - 写地址为 0x02 的电源控制 1 寄存器，给编解码器上电。
- 配置 STM32L152 的 I²S 外设。
- 通过 I²S 接口发送音频数据，停止 I²C 通信。

在 `stm32l152d_eval_audio_codec` 驱动文件中，仅使用一个函数执行编解码器配置：

```
Codec_Init(uint16_t OutputDevice, uint8_t Volume, uint32_t AudioFreq)
```

2.2.2 STM32L1xx 和板配置

本应用使用的 STM32L1xx 外设为：I2S2 用于音频通信、I2C1 用于编解码器配置和存储器接口（对于 NOR 闪存，可为 FSMC；对于 SPI_Flash 存储器，可为 SPI1 等）。

- 若要播放的音频文件很大，则应使用独立的应用（IAP、DFU 等）将其预先加载到存储器中（NOR 闪存或 SPI 闪存）。它还可作为表格文件。

若需更详细信息，请参考 www.st.com 上的 *STM32L152D-EVAL 演示固件用户手册*（UM1510）。

2.3 固件说明

本应用笔记基于 STM32L152D-EVAL 评估板固件项目的音频部分。它主要基于：

- STM32L1xx 固件库
- stm32l152d_eval_audio_codec 驱动固件（提供控制音频应用编解码器和 I²S 环境所需的主要功能）
- 一个特定的固件，用以调用 stm32l152d_eval_audio_codec 驱动函数以及控制和显示所需的其它函数（main.c、stm32l1xx_it.c 文件、waveplayer.c）。

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。

2.3.1 stm32l152d_eval_audio_codec 驱动固件说明

用户可通过驱动应用层直接与音频编解码器接口。后文总结了驱动函数。表 1 表示了总的驱动文件组织。

表 1. 驱动库说明

文件	说明
stm32l152d_eval_audio_codec.h, stm32l152d_eval_audio_codec.c waveplayer.c waveplayer.h	– I ² S 和编解码器定义、类型定义、函数原型 – 基本函数（初始化、读、写、播放、暂停、停止等）

高级函数

最终应用调用这些函数即可执行所有需要的配置并执行高端功能（例如播放波形声音、停止播放、配置所有硬件元件等）。

这些函数在表 2 中讲解。

表 2. stm32l152d_eval_audio_codec 驱动高级函数

函数名称	说明
EVAL_AUDIO_Init	初始化整个应用环境（I ² S、I ² C、编解码器、存储器）
EVAL_AUDIO_DeInit	解除初始化编解码器使用的所有资源
EVAL_AUDIO_Play	令音频文件开始播放
EVAL_AUDIO_PauseResume	暂停播放音频流并保存当前位置。必须调用它才能继续。
EVAL_AUDIO_Stop	令音频文件停止播放，复位所有本地指针。此外，它还会关闭音频编解码器。
EVAL_AUDIO_VolumeCtl	升高 / 降低 / 设置数字音量
EVAL_AUDIO_Mute	令编解码器执行静音。

下面几节仅详细说明最重要的函数。

- **EVAL_AUDIO_Init 函数**

此函数实现 I²S、编解码器、存储器接口、外设所需的所有初始化。

表 3. EVAL_AUDIO_Init 函数

函数名称	EVAL_AUDIO_Init
原型	uint32_t EVAL_AUDIO_Init(uint16_t OutputDevice, uint8_t Volume, uint32_t AudioFreq)
行为说明	初始化 I ² S、I ² C 外设、编解码器、存储器和音频文件。
输入参数	OutputDevice: 用于设置输出器件, 可以是: - OUTPUT_DEVICE_SPEAKER - OUTPUT_DEVICE_HEADPHONE - OUTPUT_DEVICE_BOTH - OUTPUT_DEVICE_AUTO Volume: 初始音量 AudioFreq: 播放音频流的音频频率
输出参数	无
返回值	- 0: 若所有初始化成功 - 1: 若初始化阶段失败
规定的前提条件	无
调用的函数	Codec_Init, Audio_MAL_Init

此函数调用与每个元件相关的子函数:

- Codec_GPIO_Init(): 配置编解码器相关的 IO
- Codec_Reset: 复位编解码器寄存器。
- Codec_CtrlInterface: 初始化音频编解码器的控制接口。
- Codec_VolumeCtrl: 设置音量。
- Codec_AudioInterface_Init: 配置 I²S 外设。

- **EVAL_AUDIO_Play 函数**
此函数从一个可编程的位置开始播放音频文件。

表 4. EVAL_AUDIO_Play 函数

函数名称	EVAL_AUDIO_Play
原型	uint32_t EVAL_AUDIO_Play(uint16_t* pBuffer, uint32_t Size)
行为说明	从一个确定大小的数据缓冲开始播放音频文件
输入参数	pBuffer: 指向缓冲的指针 Size: 音频数据字节数
输出参数	无
规定的前提条件	无
调用的函数	Audio_MAL_Play, Codec_Play

- **EVAL_AUDIO_VolumeCtl 函数**
此函数根据输入参数控制数字音量。

表 5. EVAL_AUDIO_VolumeCtl 函数

函数名称	EVAL_AUDIO_VolumeCtl
原型	uint32_t EVAL_AUDIO_VolumeCtl(uint8_t Volume)
行为说明	设置由音量变量定义的音量。
输入参数	- 音量: 从 0 到 100 (0: 最小值 (0%), 100: 最大值 (100%))
输出参数	无
规定的前提条件	无
调用的函数	Codec_VolumeCtl

2.4 演示固件说明

本应用固件来自 STM32L152D-EVAL 评估演示固件。若需更详细信息，请参考 *STM32L152D-EVAL 演示固件用户手册* (UM1510)，[2.4.4 节波形播放器子菜单](#)和 [4.1 节编程媒体文件](#)。

STM32L152D-EVAL 演示固件中的媒体目录必须加载到 SD 卡中。此目录包含用于 LCD 显示的 BMP 文件 (*.bmp) 和用于播放的音频文件 (*.wav)。

3 修订历史

表 6. 文档修订历史

日期	修订	变更
2013 年 8 月 01 日	1	初始版本。
2014 年 5 月 27 日	2	更新了介绍和声明。

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。

© 2014 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