

# Rockchip麦克风阵列音频算法调试说明文档

---

文件标识：RK-KF-SF-958

发布版本：V1.3.2

日期：2022-08-30

文件密级：☐绝密 ☐秘密 ☐内部资料 ☒公开

## 免责声明

本文档按“现状”提供，瑞芯微电子股份有限公司（“本公司”，下同）不对本文档的任何陈述、信息和内容的准确性、可靠性、完整性、适销性、特定目的性和非侵权性提供任何明示或暗示的声明或保证。本文档仅作为使用指导的参考。

由于产品版本升级或其他原因，本文档将可能在未经任何通知的情况下，不定期进行更新或修改。

## 商标声明

“Rockchip”、“瑞芯微”、“瑞芯”均为本公司的注册商标，归本公司所有。

本文档可能提及的其他所有注册商标或商标，由其各自所有者所有。

## 版权所有 © 2022 瑞芯微电子股份有限公司

超越合理使用范畴，非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

瑞芯微电子股份有限公司

Rockchip Electronics Co., Ltd.

地址：福建省福州市铜盘路软件园A区18号

网址：[www.rock-chips.com](http://www.rock-chips.com)

客户服务电话：+86-4007-700-590

客户服务传真：+86-591-83951833

客户服务邮箱：[fae@rock-chips.com](mailto:fae@rock-chips.com)

## 前言

## 概述

本文提供一个麦克风阵列结构设计参靠文档，工程师可以参照相关内容进行麦克风阵列设计。

## 产品版本

芯片名称	内核版本
全系列	通用

## 读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：

技术支持工程师

## 修订记录

版本号	作者	修改日期	修改说明
V1.0.0	李茂发	2020-11-06	初始版本
V1.1.0	李茂发	2020-11-20	增加辅助模块参数
V1.2.0	李茂发	2021-05-28	算法修改参数更新
V1.3.0	李茂发	2021-08-12	算法修改参数更新
V1.3.1	廖华平、郑兴	2022-08-15	整理文档格式
V1.3.2	李茂发、郑兴	2022-08-30	整理文档格式

# 目录

## Rockchip 麦克风阵列音频算法调试说明文档

1. 概述
  - 1.1 音频算法特性
2. 音频算法说明
  - 2.1 音频算法模块说明
    - 2.1.1 辅助模块
    - 2.1.2 AEC模块
    - 2.1.3 Beamforming模块
  - 2.2 音频算法流程
    - 2.2.1 唤醒流程
    - 2.2.2 通话流程
  - 2.3 音频算法运行效果展示
    - 2.3.1 AEC模块效果
    - 2.3.2 BF模块效果
3. 音频算法接口调用说明
4. 音频算法参数调试说明
  - 4.1 全局模块参数设置
  - 4.2 AEC模块参数设置
  - 4.3 BF模块参数设置
  - 4.4 去混响模块参数设置
  - 4.5 AES模块参数设置
  - 4.6 ANR模块参数设置
  - 4.7 AGC模块参数设置
  - 4.8 舒适噪声参数设置
  - 4.9 DTD模块参数设置
  - 4.10 推荐参数示例

# 1. 概述

---

## 1.1 音频算法特性

多麦克风阵列算法，包括回声消除AEC、波束形成BF、语音降噪ANR、自动增益AGC等。主要包括以下应用场景：

- 回声消除AEC用于消除麦克采集到的扬声器播放的声音
- 波束形成BF用于增强语音，抑制相干噪声和环境噪声
- 语音降噪ANR用于消除麦克采集到的环境噪音
- 自动增益AGC用于增强语音电平信号

## 2. 音频算法说明

---

多麦克风声学处理主要完成回声消除和语音增强任务。

### 2.1 音频算法模块说明

完整的算法包括的流程模块如图1所示，包括如下部分：

#### 2.1.1 辅助模块

这些模块包括高通滤波（High pass-Filter）、预加重（pre-emphasis）、去加重（de-emphasis）等模块，其中，高通滤波模块用于滤除低频电路噪音，预加重用于对语音高频能量提升，增强传输过程高频信噪比，在输出端再通过去加重进行还原。

#### 2.1.2 AEC模块

AEC模块包括MDF模块和Delay模块。

- MDF模块属于线性回声消除算法，用于消除回声
- Dealy模块为延迟估计模块，用于估计回采信号与麦克风信号之间的延迟

#### 2.1.3 Beamforming模块

Beamforming（以下简称BF）模块包括FAST\_AEC模块、WAKEUP模块、Dereverb模块、NLP模块、AES模块、ANR模块、AGC模块、CNG模块以及DTD模块。

- FAST\_AEC模块属于线性回声消除算法，用于抑制残留回声
- WAKEUP模块为RK定制唤醒，主要完成特定唤醒词唤醒机器
- Dereverb模块为去混响模块，用于消除环境混响

- NLP模块属于非线性回声消除算法，用于抑制残留回声
- ANR模块为单通道降噪模块，用于抑制环境噪声
- AGC模块属于自动增益模块，用于控制语音电平信号
- CNG模块为舒适度噪声模块，用于添加舒适度噪声
- DTD模块为双讲检测模块，用于检测语音通话状态

## 2.2 音频算法流程

多麦克风阵列算法提供两种不同的语音通路。

### 2.2.1 唤醒流程

该流程通过唤醒进行机器应答以及定位，输出唤醒人所在位置的音频，具体流程如图1所示。

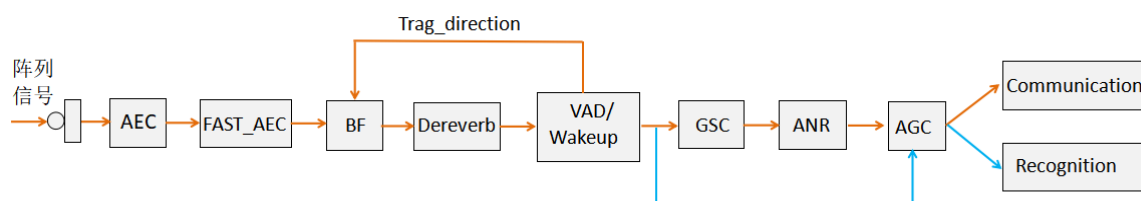


图 1 唤醒流程系统框图

1. 阵列采集阵列信息后，先通过AEC模块消除线性回声，BF内置FAST\_AEC的进行进一步的回声抑制；
2. 经过固定波束输出增强后的语音；
3. 接入Dereverb模块去除残留混响；
4. 通过Wakeup唤醒模块定位出声源位置；
5. 将定位的语音语音送入GSC后处理模块进行后滤波，（注：蓝色箭头云端识别流程，直接将定位语音送到AGC输出）；
6. 再将处理后的语音送到ANR模块进一步进行降噪；
7. 最后送到AGC模块进行语音增益，送到远端进行通话。

### 2.2.2 通话流程

该流程不进行唤醒，除了Wakeup模块外其余模块均与唤醒流程相似，具体流程如图2所示。

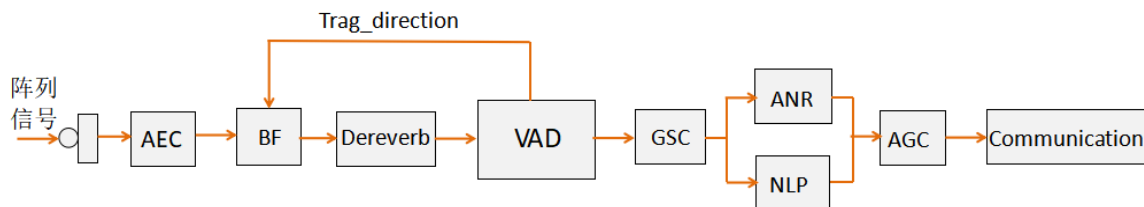


图 2 通话流程系统框图

1. 阵列采集阵列信息后，先通过AEC模块消除线性回声，AES或NLP消除非线性回声；
2. 经过固定波束输出增强后的语音；
3. 接入Dereverb模块去除残留混响；
4. 通过VAD唤醒模块定位出声源位置；
5. 将定位的语音语音送入GSC后处理模块进行后滤波；
6. 再将处理后的语音同时送到NLP和ANR模块进一步进行残留回声抑制以及降噪；

7. 最后送到AGC模块进行语音增益，送到远端进行通话。

## 2.3 音频算法运行效果展示

### 2.3.1 AEC模块效果

多麦克风通话算法提供两种不同的语音通路，以下为2中不同通路产生的效果，注该测试音频采用 WV2215 音箱，麦克风采用 MSM261D4030H1CPM，测试环境为瑞芯微演播室，音箱的频响和失真曲线如下所示：

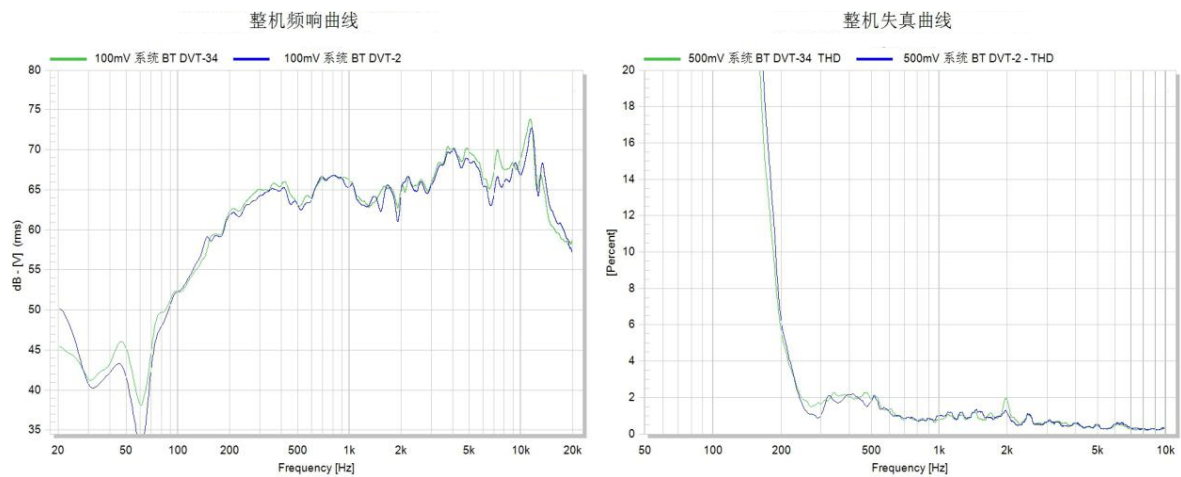


图 3 WV2215频响和失真曲线

采用唤醒加噪声方式进行算法效果统计，左通道为原始输入，右通道为算法处理后输出。其中，左图均为频域图，右图为纯噪声区间内的时域统计结果。

- 线性回声消除效果

以下为线性回声处理结果，需要注意的该音频并非在专业声学环境测量，存在环境噪声，结果仅做参考。

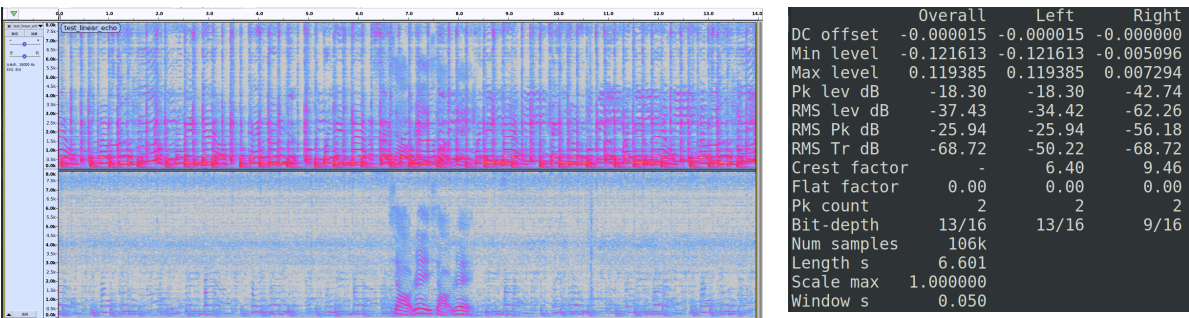
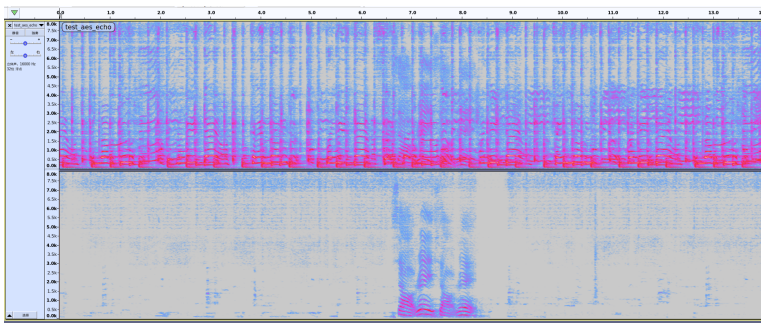


图 4 线性回声消除系统框图

该场景下，回声消除平均在30dB左右。

- 非线性回声消除效果

以下为非线性回声处理结果，需要注意的该音频并非在专业声学环境测量，结果仅做参考。



	Overall	Left	Right
DC offset	-0.000016	-0.000016	0.000000
Min level	-0.121613	-0.121613	-0.002045
Max level	0.119385	0.119385	0.002014
Pk lev dB	-18.30	-18.30	-53.79
RMS lev dB	-37.38	-34.37	-73.49
RMS Pk dB	-25.94	-25.94	-65.47
RMS Tr dB	-82.93	-50.22	-82.93
Crest factor	-	6.36	9.66
Flat factor	0.00	0.00	0.00
Pk count	2	2	2
Bit-depth	13/16	13/16	8/16
Num samples	101k		
Length s	6.284		
Scale max	1.000000		
Window s	0.050		

图 5 非线性回声消除系统框图

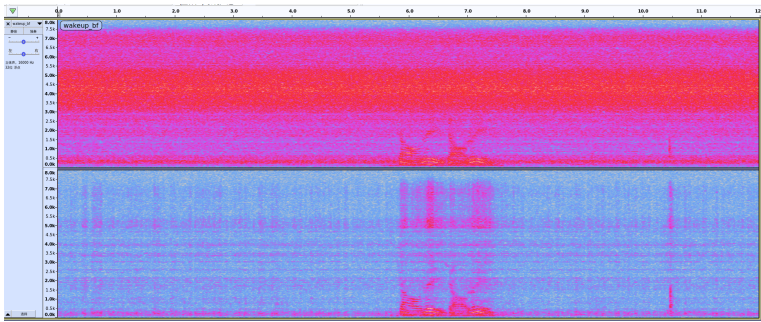
该场景下，回声消除平均在40dB左右。

### 2.3.2 BF模块效果

以下为干扰测试，测试场地为瑞芯微演播室，测试声源1m处分贝值为70dB，测试声源距离麦阵5m，干扰声源1m处分贝值为64dB，干扰声源距离麦阵1m：

- 唤醒流程效果

以下为通用环境下唤醒测试，结果仅做参考：



	Overall	Left	Right
DC offset	-0.000002	-0.000002	0.000001
Min level	-0.257690	-0.257690	-0.015442
Max level	0.263489	0.263489	0.015442
Pk lev dB	-11.58	-11.58	-36.23
RMS lev dB	-27.57	-24.56	-52.88
RMS Pk dB	-23.65	-23.65	-47.16
RMS Tr dB	-56.48	-25.91	-56.48
Crest factor	-	4.46	6.81
Flat factor	0.00	0.00	0.00
Pk count	2.50	2	3
Bit-depth	15/16	15/16	10/16
Num samples	90.9k		
Length s	5.683		
Scale max	1.000000		
Window s	0.050		

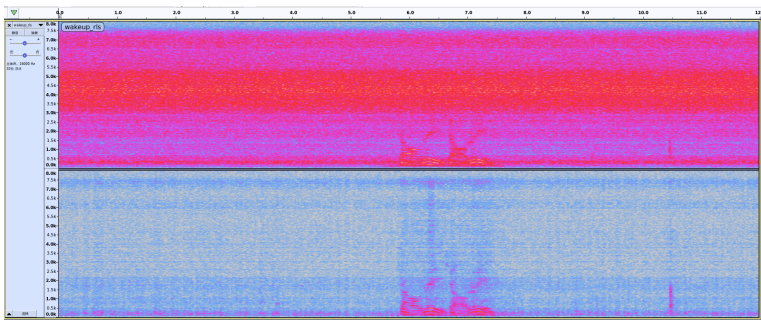
图 6 唤醒流程效果图

该场景下，背景噪声消除平均在28dB左右。

注：语音唤醒只用了固定波束以免造成语音的损伤。

- 通话流程效果

以下为通用环境下通话测试，结果仅做参考：



	Overall	Left	Right
DC offset	0.000001	0.000001	-0.000000
Min level	-0.257660	-0.257660	-0.005798
Max level	0.263489	0.263489	0.005798
Pk lev dB	-11.58	-11.58	-44.73
RMS lev dB	-27.58	-24.57	-60.41
RMS Pk dB	-23.65	-23.65	-54.60
RMS Tr dB	-64.35	-25.91	-64.35
Crest factor	-	4.46	6.08
Flat factor	0.00	0.00	0.00
Pk count	4.50	2	7
Bit-depth	15/16	15/16	9/16
Num samples	90.4k		
Length s	5.650		
Scale max	1.000000		
Window s	0.050		

图 7 通话流程效果图

该场景下，背景噪声消除平均在36dB左右。



### 3. 音频算法接口调用说明

---

该库的调用过程如下：

#### 1. 设置参数：

该步骤用于对麦克风算法开放的音频参数进行设置，其中，AEC相关参数的设置需要根据产品音频腔体、器件特点以及使用需求等进行调整，使用时需要根据每个产品的特点设置参数，初步集成时可使用默认参数，然后根据效果调整参数。参数设置需要通过rkaudio\_preprocess.h文件调整，将该文件路径名作为初始化的输入参数。

#### 2. 初始化：

该步骤用于通话开启后，逐帧处理声音信号前。初始化接口函数名为rkaudio\_preprocess\_init，具体调用如下所示：

```
st_ptr = rkaudio_preprocess_init(mSampleRate, mBitPerSample, num_src_channel,
num_ref_channel, &param);
```

其中，mSampleRate采样率为16000Hz，mBitPerSample音频位深为16bit，num\_src\_channel为mic通道数，num\_ref\_channel为回采通道数，param为输入参数，该参数通过rkaudio\_preprocess.h配置将在后面进行详细说明。

初始化完成算法内部参数初始化和相关内存申请，若初始化成功则返回st\_ptr结构体，如果初始化失败，结构体将为NULL。

#### 3. 帧处理：

该步骤即是实时处理通话语音信号，其单位为帧，固定每帧16ms的样点，16k采样时，每帧256个样点。帧处理包括接口函数为rkaudio\_preprocess\_short，具体调用如下所示：

```
out_size = rkaudio_preprocess_short(st_ptr, (short*)in, out, in_size / 2,
&is_wakeup);
```

其中，st\_ptr为初始化后生成的结构体，in为输入音频单位为byte，out为输出音频单位为short，in\_size为一帧读入byte数据量为  $256 * \text{num\_channel} * 2$ 。

#### 4. 销毁释放：

该步骤用于通话结束后，接口函数为rkaudio\_preprocess\_destory(st\_ptr)和rkaudio\_param\_deinit(param)，释放算法内存变量。

### 4. 音频算法参数调试说明

---

多麦克风阵列算法通过rkaudio\_preprocess.h文件进行参数配置。



## 4.1 全局模块参数设置

参数设置主要分为AEC模块和BF模块，其中AEC模块通过rkaudio\_aec\_param\_init()函数配置，BF模块通过rkaudio\_preprocess\_param\_init()函数配置。

```
#define NUM_SRC_CHANNEL      8  /* 设置麦克风通道数 */
#define NUM_REF_CHANNEL      2  /* 设置参考通道数，该处设置2参考通道 */
#define NUM_DROP_CHANNEL    0  /* 设置不处理参考通道数，主要针对2路同样参考通道做丢弃一路处理 */
#define REF_POSITION         0  /* 参考通道位置，0为参考通道位于mic数据最前面，1则在最后面 */
static short int Array[NUM_SRC_CHANNEL] = { 9,7,5,3,2,4,6,8 }; /* 设置麦克风顺序 */
```

## 4.2 AEC模块参数设置

AEC各模块开关配置如下：

AEC模块通过rkaudio\_aec\_param\_init()函数配置，主要参数如下：

```
param->pos /* 置0默认回采输入音频最前面通道，置1回采输入音频最后面通道 */
param->drop_ref_channel /* 置0不做处理，置1丢弃回采通路的最后一路 */
param->model_aec_en /* 置0不做延迟估计，置EN_DELAY进行延迟估计，软回采必须置1，置EN_ARRAY_RESET开启麦克风顺序重排功能 */
param->delay_len /* 延迟估计不开时为默认硬回采延迟点，延迟估计打开时为起始延迟估计点 */
param->look_ahead /* 缓存麦克风段数据长度，除非已知采集麦克风信号晚于回采信号可配置，其余情况默认置0 */
param->Array_list /* 配置麦克风顺序，用于不规则麦克风调整 */
```

## 4.3 BF模块参数设置

BF各模块开关配置如下：

```
typedef enum RKPreprocessEnable_
{
    EN_Fastaec = 1 << 0, /* 打开线性残留回声消除模块，该功能用于唤醒通路进一步消除回声 */
    EN_Wakeup = 1 << 1, /* 打开唤醒模块 */
    EN_Dereverberation = 1 << 2, /* 打开去混响模块 */
    EN_Nlp = 1 << 3, /* 打开非线性残留回声消除模块，该功能用于通话通路进一步消除回声 */
    EN_AES = 1 << 4, /* 同上，同为打开非线性残留回声消除模块 */
    EN_Agc = 1 << 5, /* 打开自动增益控制模块 */
    EN_An_r = 1 << 6, /* 打开噪声抑制模块 */
    EN_GSC = 1 << 7, /* 打开波束后滤波模块，该功能用于进一步消除噪声，视实际效果决定是否打开 */
    GSC_Method = 1 << 8, /* 关闭则GSC采用LMS方法，打开GSC采用RLS方法，RLS算力高于LMS算法 */
    EN_Fix = 1 << 9, /* 启用固定方向波束 */
    EN_STDT = 1 << 10, /* 打开双讲检测模块 */
    EN_CNG = 1 << 11, /* 打开舒适度噪声模块 */
    EN_EQ = 1 << 12, /* 打开EQ调节模块 */
    EN_CHN_SELECT = 1 << 13, /* 用于定制化扩展MIC需求场景 */
}
```

```
} RKPreprocessEnable;
```

BF模块通过rkaudio\_preprocess\_param\_init()函数配置，主要参数如下：

```
param->model_bf_en /* BF模块各模块开关 */
param->Targ /* 当EN_Fix打开时，设置拾音方向 */
param->pos /* 置0默认回采放输入音频最前面通道，置1回采放输入音频最后面通道 */
param->num_ref_channel /* 回采信号数量 */
param->drop_ref_channel /* 丢弃回采信号数量 */
param->dereverb_para = rkaudio_dereverb_param_init() /* 去混响模块参数配置 */
param->aes_para = rkaudio_aes_param_init() /* AES回声抑制参数配置 */
param->nlp_para = rkaudio_nlp_param_init() /* NLP模块参数配置 */
param->anr_para = rkaudio_anr_param_init() /* ANR模块参数配置 */
param->agc_para = rkaudio_agc_param_init() /* AGC模块参数配置 */
param->cng_para = rkaudio_cng_param_init() /* CNG模块参数配置 */
param->dtd_para = rkaudio_dtd_param_init() /* DTD模块参数配置 */
param->eq_para = rkaudio_eq_param_init() /* EQ模块参数配置 */
```

## 4.4 去混响模块参数设置

去混响模块用于混响消除，该模块通过rkaudio\_dereverb\_param\_init()配置：

```
param->rlsLg /* RLS滤波器阶数，用于唤醒模块去混响，一定范围内，阶数越大，去混响效果越强，算力消耗越大，建议取值：4 */
param->curveLg /* 分布曲线阶数，用于通话模块去混响，阶数越大，去混响效果越强，越容易过消，建议取值：10 */
param->delay /* RLS滤波器延时，决定早期混响保留程度，建议取值：2 */
param->forgetting /* RLS滤波器遗忘因子，因子越小，rls去混响能力越强，越容易过消，建议范围：0.98-0.999 */
param->T60 /* 混响时间估计值（单位：s），越大，去混响能力越强，但是越容易过消除，低混响场景建议取值0.68，中高混响场景建议取值1.5 */
param->coCoeff /* 互相干性调整系数，防止过消除，越小能力越强，低混响场景建议取值2，中高混响场景建议取值1 */
```

## 4.5 AES模块参数设置

AES模块用于非线性处理过程，该模块通过rkaudio\_aes\_param\_init()配置。

```
param->Beta_Up = 0.001f; /* 上升速度，该值越大则非线性抑制越强，建议0.001-0.01之间 */
param->Beta_Down = 0.005f; /* 下降速度，该值越大则非线性抑制越弱，建议0.005-0.01之间 */
```

## 4.6 ANR模块参数设置

降噪模块用于语音降噪，消除环境噪声，通过rkaudio\_anr\_param\_init()函数配置：

```

param->enable_anr /* ANR降噪开关 */
param->noiseFactor /* 降噪等级从0到0.99 */
param->swU /* 取值范围：0~10，ANR噪声估计时间片，设置越大噪声估计越准确，开头收敛越慢 */
param->PsiMin /* 取值范围：0.0f~1.0f，语音存在概率判断阈值，设置越大，噪音消除效果越强 */
param->PsiMax /* 同上，取值范围：0.0f~1.0f，语音存在概率判断阈值，设置越大，噪音消除效果越强 */
param->fGmin /* 取值范围：0.0f~1.0f，设置越小，噪音消除效果越强 */

```

## 4.7 AGC模块参数设置

AGC模块用于增强语音，通过rkaudio\_agc\_param\_init()函数配置：

```

param->attack_time = 400.0; /* 触发时间，即AGC增益上升所需要的时间 */
param->release_time = 400.0; /* 施放时间，即AGC增益下降所需要的时间 */
param->max_gain = 30.0; /* 最大增益，同时也是线性段增益，单位：dB */
param->max_peak = -3.0; /* 经AGC处理后，输出语音的最大能量，范围：单位：dB */
param->fRk0 = 2; /* 扩张段斜率 */
param->fRth2 = -35; /* 压缩段起始能量dB阈值，高于该值的语音增益逐渐下降至0dB */
param->fRth1 = -60; /* 扩张段结束能量dB阈值，高于该值的语音以max_gain增益 */
param->fRth0 = -65; /* 噪声门阈值，低于该值的语音不被增益 */

```

注：压缩段必须满足以下条件：fRth2 + max\_gain 必须小于0dB且小于max\_peak，否则会造成截幅。

## 4.8 舒适噪声参数设置

舒适噪声CNG参数设置用于在通话过程中添加舒适白噪声，仅在录音处理中存在，且该模块通常关闭。

```

param->fSmoothAlpha /* 施加舒适噪声平滑度，默认0.92 */
param->fSpeechGain /* 施加舒适噪声语音纹理模拟程度，默认0.3 */
param->fGain /* 施加舒适噪声幅度比例，默认2 */
param->fMpy /* 白噪随机数生成幅度，默认5 */

```

## 4.9 DTD模块参数设置

DTD参数设置用于判断语音处于单讲还是双讲态。

```

param->ksiThd_high = 0.70f /* 单双讲判决阈值，ceil阈值，高于该阈值判断为单讲 */
param->ksiThd_low = 0.50f; /* floor阈值，低于该阈值判断为单讲 */

```

注：该值为起始阈值，目前算法采用自适应更新。

## 4.10 推荐参数示例

用于唤醒推荐参数如下：

```

param->model_bf_en = EN_Wakeup | EN_Fastaec | EN_STDT | EN_Agc;

```

用于语音通话推荐参数如下：

```
param->model_bf_en = EN_Fastaec | EN_STDT | EN_AES | EN_An timer | EN_Dereverberation  
| EN_Agc;
```