

# Rockchip User Guide RKNN\_API

V1.3.0

toybrick confidential

## 目 录

1 主要功能说明 .....	3
2 系统依赖说明 .....	3
2.1 LINUX 平台依赖 .....	3
2.2 ANDROID 平台依赖 .....	3
3 API 使用说明 .....	4
3.1 RKNN API 详细说明 .....	4
3.1.1 <i>rknn_init</i> & <i>rknn_init2</i> .....	5
3.1.2 <i>rknn_destroy</i> .....	6
3.1.3 <i>rknn_query</i> .....	6
3.1.4 <i>rknn_inputs_set</i> .....	10
3.1.5 <i>rknn_run</i> .....	11
3.1.6 <i>rknn_outputs_get</i> .....	11
3.1.7 <i>rknn_outputs_release</i> .....	13
3.1.8 <i>rknn_find_devices</i> .....	13
3.2 RKNN 数据结构定义 .....	14
3.2.1 <i>rknn_input_output_num</i> .....	14
3.2.2 <i>rknn_tensor_attr</i> .....	14
3.2.3 <i>rknn_input</i> .....	15
3.2.4 <i>rknn_output</i> .....	16
3.2.5 <i>rknn_perf_detail</i> .....	17
3.2.6 <i>rknn_perf_run</i> .....	17
3.2.7 <i>rknn_init_extend</i> .....	17
3.2.8 <i>rknn_run_extend</i> .....	17

---

3.2.9 rknn_output_extend.....	18
3.2.10 rknn_sdk_version.....	18
3.2.11 rknn_devices_id.....	18
3.2.12 rknn 返回值错误码.....	19
3.3 RKNN API 基本调用流程.....	19
<b>4 DEMO 使用说明.....</b>	<b>25</b>
4.1 LINUX ARM DEMO.....	25
4.1.1 编译说明.....	25
4.1.2 运行说明.....	26
4.2 LINUX X86 DEMO.....	27
4.2.1 编译说明.....	27
4.2.2 运行说明.....	27
4.3 ANDROID DEMO.....	28
4.3.1 编译说明.....	28
4.3.2 运行说明.....	29
<b>5 附录.....</b>	<b>30</b>
5.1 API 迁移说明.....	30
5.1.1 v0.9.1 到 v0.9.2.....	30

## 1 主要功能说明

本 API SDK 为基于 Linux/Android 的神经网络 NPU 硬件的一套加速方案，可为采用 RKNN API 开发的 AI 相关应用提供通用加速支持。

本文主要包含 3 个部分：

- 1) RKNN API： RKNN API 详细的 API 定义和使用说明。
- 2) Linux Demo： 编译出 Linux 平台上使用硬件加速的基于 MobileNet 的分类器 Demo 和基于 MobileNet-SSD 目标检测的 Demo。
- 3) Android Demo： 编译出 Android 平台上使用硬件加速的基于 MobileNet-SSD 目标检测的 Demo。

## 2 系统依赖说明

### 2.1 Linux 平台依赖

本 API SDK 的 Linux Arm 版本基于 RK3399Pro 的 64 位 Linux 开发，需要在 64 位的 Linux Arm 系统上使用。

本 API SDK 的 Linux x86 版本基于 x86 的 64 位 Ubuntu16.04 开发，需要在 x86 的 64 位 Linux 系统上使用，如 Ubuntu16.04 64-bit X86 PC，同时要确保 RK1808 已经通过 USB 连接到 PC。

### 2.2 Android 平台依赖

本 API SDK 的 Android 版本基于 RK3399Pro 的 Android8.1 开发，需要在 Android8.1 及 Android8.1 以上系统上使用。

### 3 API 使用说明

RKNN API 是一套基于 NPU 硬件加速的应用编程接口 (API)，开发者可以使用该 API 开发相关的 AI 应用，该 API 会自动调用 NPU 硬件加速器来进行加速。

目前该 RKNN API 在 Linux 和 Android 平台下的接口是一致的。

Linux 平台上，API SDK 提供了两个使用 RKNN API 的 Demo，一个是基于 MobileNet 模型图像分类器 Demo，另一个是基于 MobileNet-SSD 模型的目标检测 Demo；

Android 平台上，API SDK 提供了一个使用 RKNN API 的基于 MobileNet-SSD 模型的目标检测 Demo。

#### 3.1 RKNN API 详细说明

RKNN API 为 Rockchips 为 NPU 硬件加速器设计的一套通用 API，该 API 需要配合 Rockchips 提供的 RKNN 模型转换工具一起使用，RKNN 模型转换工具可以将常见的模型格式转换成 RKNN 模型，例如 Tensorflow 的 pb 模型和 tflite 模型，caffe 的模型等。

RKNN 模型转换工具的详细说明请参见《RKNN-Toolkit 使用指南》。

RKNN 模型转换工具可以输出文件后缀为 .rknn 的模型文件，如 mobilenet\_v1-tf.rknn。

Linux 平台上，进入 Linux/rknn\_api\_sdk 目录，RKNN API 的定义在 rknn\_api\_sdk/rknn\_api/include/rknn\_api.h 的头文件里。RKNN API 的动态库路径为 rknn\_api\_sdk/rknn\_api/lib64/librknn\_api.so。应用程序只需要包含该头文件和动态库，就可以编写相关的 AI 应用。

Android 平台上，进入 Android/rknn\_api 目录，RKNN API 的定义在 rknn\_api/include/rknn\_api.h 的头文件里。RKNN API 的动态库路径为 rknn\_api/lib64/librknn\_api.so 和 rknn\_api/lib/librknn\_api.so。应用程序只需要包含该头文

件和动态库，就可以编写相关的 AI 应用的 JNI 库。目前 Android 上只支持采用 JNI 的开发方式。

下面的章节是 rknn api 的函数说明。

### 3.1.1 rknn\_init & rknn\_init2

API	<pre>int rknn_init(rknn_context* context, void* model, uint32_t size, uint32_t flag) int rknn_init2(rknn_context* context, void* model, uint32_t size, uint32_t flag, rknn_init_extend* extend)</pre>
功能	创建 context 并加载 rknn 模型，并根据 flag 执行特定的初始化行为。
参数	rknn_context* context: context 对象指针。用于返回创建的 context 对象。
	void* model: 指向 rknn 模型的指针。
	uint32_t size: rknn 模型的大小。
	uint32_t flag: 扩展 flag: <p><b>RKNN_FLAG_PRIOR_HIGH:</b> 创建高优先级的 Context。</p> <p><b>RKNN_FLAG_PRIOR_MEDIUM:</b> 创建中优先级的 Context。</p> <p><b>RKNN_FLAG_PRIOR_LOW:</b> 创建低优先级的 Context。</p> <p><b>RKNN_FLAG_ASYNC_MASK:</b> 打开异步模式。打开之后，rknn_outputs_get 将不会阻塞太久，因为它直接返回的上一帧的推理结果（第一帧的推理结果除外），这将显著提高单线程模式下的推理帧率，但代价是 rknn_outputs_get 返回的不是当前帧的推理结果。但当 rknn_run 和 rknn_outputs_get 不在同一个线程时，则无需打开该异步模式。</p> <p><b>RKNN_FLAG_COLLECT_PERF_MASK:</b> 打开性能收集调试开关。打开之后能够通过 rknn_query 接口查询网络每层运行时间。需要注意，该标志被设置后，因为需要同步每层的执行操作，所以推理一帧的总耗时会比不使用 RKNN_FLAG_COLLECT_PERF_MASK 标志</p>

	时更长。
	rknn_init_extend* extend: 扩展信息的指针, 如用于设置或获取当前 init 的信息, 如设置设备的 ID 号 device_id (详见 rknn_api.h 的 <a href="#">rknn_init_extend</a> 定义)。如不用, 可赋 NULL。
返回值	int 错误码 (见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> )。

示例代码如下:

```
rknn_context ctx;
int ret = rknn_init(&ctx, model_data, model_data_size, 0);
```

### 3.1.2 rknn\_destroy

API	int rknn_destroy(rknn_context context)
功能	卸载 rknn 模型并销毁 context 及其相关资源。
参数	rknn_context context: context 的对象。
返回值	int 错误码 (见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> )。

示例代码如下:

```
int ret = rknn_destroy (ctx);
```

### 3.1.3 rknn\_query

API	int rknn_query(rknn_context context, rknn_query_cmd cmd, void* info, uint32_t size)
功能	查询模型与 SDK 的相关信息。
参数	rknn_context context: context 的对象。

	rknn_query_cmd cmd: 查询命令。
	void* info: 存放返回结果的结构体变量。
	uint32_t size: info 对应的结构体变量的大小。
返回值	int 错误码 (见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> )

当前 SDK 支持的查询命令如下表所示:

查询命令	返回结果结构体	功能
RKNN_QUERY_IN_OUT_NUM	<a href="#">rknn_input_output_num</a>	查询 input 和 output 的 Tensor 个数。
RKNN_QUERY_INPUT_ATTR	<a href="#">rknn_tensor_attr</a>	查询 Input Tensor 属性。
RKNN_QUERY_OUTPUT_ATTR	<a href="#">rknn_tensor_attr</a>	查询 Output Tensor 属性。
RKNN_QUERY_PERF_DETAIL	<a href="#">rknn_perf_detail</a>	<p>查询网络各层运行时间。</p> <p>该查询需要在 rknn_init 的 flag ‘与’ 上 RKNN_FLAG_COLLECT_PERF_MASK, 否则获取不到详细的各层性能信息。另外, RKNN_QUERY_PERF_DETAIL 查询返回的 rknn_perf_detail 结构体的 perf_data 成员不需要用户进行主动释放。</p> <p>同时该查询需要在 rknn_outputs_get 函数调用后才能返回正确的查询结果。</p>
RKNN_QUERY_PERF_RUN	<a href="#">rknn_perf_run</a>	<p>查询单帧推理的硬件执行时间。</p> <p>同时该查询需要在 rknn_outputs_get 函数调用后才能返回正确的查询结果。</p>
RKNN_QUERY_SDK_VERSION	<a href="#">rknn_sdk_version</a>	查询 SDK 版本。

接下来的小节将依次详解各个查询命令如何使用。



### 3.1.3.1 查询 Input 和 Output 的 Tensor 个数

传入 RKNN\_QUERY\_IN\_OUT\_NUM 命令可以查询模型 Input 和 Output 的 Tensor 个数。其中需要先创建 rknn\_input\_output\_num 结构体对象。

示例代码如下：

```
rknn_input_output_num io_num;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_IN_OUT_NUM, &io_num, sizeof(io_num));
printf("model input num: %d, output num: %d\n", io_num.n_input,
        io_num.n_output);
```

### 3.1.3.2 查询 Input 的 Tensor 属性

传入 RKNN\_QUERY\_INPUT\_ATTR 命令可以查询模型 Input 的 Tensor 的属性。其中需要先创建 rknn\_tensor\_attr 结构体对象。

示例代码如下：

```
rknn_tensor_attr input_attrs[io_num.n_input];
memset(input_attrs, 0, sizeof(input_attrs));
for (int i = 0; i < io_num.n_input; i++) {
    input_attrs[i].index = i;
    ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_INPUT_ATTR, &(input_attrs[i]),
                    sizeof(rknn_tensor_attr));
}
```

### 3.1.3.3 查询 Output 的 Tensor 属性

传入 RKNN\_QUERY\_OUTPUT\_ATTR 命令可以查询模型 Output 的 Tensor 的属性。其中需要先创建 rknn\_tensor\_attr 结构体对象。

示例代码如下：

```
rknn_tensor_attr output_attrs[io_num.n_output];
memset(output_attrs, 0, sizeof(output_attrs));
for (int i = 0; i < io_num.n_output; i++) {
    output_attrs[i].index = i;
    ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_OUTPUT_ATTR, &(output_attrs[i]),
                    sizeof(rknn_tensor_attr));
}
```

### 3.1.3.4 查询网络各层运行时间

如果在 `rknn_init` 函数调用时有设置 `RKNN_FLAG_COLLECT_PERF_MASK` 标志，那么在执行 `rknn_outputs_get` 调用完成之后，可以传入 `RKNN_QUERY_PERF_DETAIL` 命令来查询网络每层运行时间。其中需要先创建 `rknn_perf_detail` 结构体对象。

另外，`RKNN_QUERY_PERF_DETAIL` 查询返回的 `rknn_perf_detail` 结构体的 `perf_data` 成员不需要用户进行主动释放。

同时该查询需要在 `rknn_outputs_get` 函数调用后才能返回正确的查询结果。

示例代码如下：

```
rknn_perf_detail perf_detail;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_PERF_DETAIL, &perf_detail,
                sizeof(rknn_perf_detail));
printf("%s", perf_detail.perf_data);
```

### 3.1.3.5 查询单帧推理的时间

传入 `RKNN_QUERY_PERF_RUN` 命令可以查询单帧推理的硬件执行时间。其中需要先创建 `rknn_perf_run` 结构体对象。

同时该查询需要在 `rknn_outputs_get` 函数调用后才能返回正确的查询结果。

示例代码如下：

```
rknn_perf_run perf_run;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_PERF_RUN, &perf_run,
                sizeof(rknn_perf_run));
printf("%ld", perf_run.run_duration);
```

### 3.1.3.6 查询 SDK 版本

传入 RKNN\_QUERY\_SDK\_VERSION 命令可以查询 RKNN API 以及 Driver 的版本。其中需要先创建 rknn\_sdk\_version 结构体对象。

示例代码如下：

```
rknn_sdk_version version;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_SDK_VERSION, &version,
                sizeof(rknn_sdk_version));
printf("api version: %s\n", version.api_version);
printf("driver version: %s\n", version.driv_version);
```

### 3.1.4 rknn\_inputs\_set

API	int rknn_inputs_set(rknn_context context, uint32_t n_inputs, rknn_input inputs[])
功能	设置 inputs 的 buffer 以及参数。 Buffer 及参数需存储在 rknn_input 中。该函数能够支持多个 input，其中每个 input 是 rknn_input 结构体对象，在传入之前用户需要设置该对象。
参数	rknn_context context: context 的对象。
	uint32_t n_inputs: inputs 的个数。
	rknn_input inputs[]: inputs 的数组指针，数组每个元素是 rknn_input 结构体对象。
返回值	int 错误码（见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> ）

示例代码如下：

```
rknn_input inputs[1];
memset(inputs, 0, sizeof(inputs));
inputs[0].index = 0;
inputs[0].type = RKNN_TENSOR_UINT8;
inputs[0].size = img_width*img_height*img_channels;
inputs[0].pass_through = FALSE;
inputs[0].fmt = RKNN_TENSOR_NHWC;
inputs[0].buf = in_data;

ret = rknn_inputs_set(ctx, 1, inputs);
```

更详细的使用方法见【[RKNN API 基本调用流程](#)】章节的步骤 4。

### 3.1.5 rknn\_run

API	int rknn_run(rknn_context context, rknn_run_extend* extend)
功能	执行一次模型推理，调用之前需要先通过 rknn_inputs_set 函数设置 input 数据。 该函数正常不会阻塞，但是当有超过 3 次推理结果没有通过 rknn_outputs_get 获取时则会阻塞，直至 rknn_outputs_get 被调用。
参数	rknn_context context: context 的对象。
	rknn_run_extend* extend: 扩展信息的指针，用于设置或输出当前 rknn_run 对应的帧的信息，如 frame_id (详见 rknn_api.h 的 rknn_run_extend 定义)。如不用，可赋 NULL。
返回值	int 错误码 (见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> )

示例代码如下：

```
ret = rknn_run(ctx, NULL);
```

### 3.1.6 rknn\_outputs\_get

API	int rknn_outputs_get(rknn_context context, uint32_t n_outputs, rknn_output outputs[], rknn_output_extend* extend)
-----	---

<p>功能</p>	<p>等待推理操作结束并获取 outputs 结果。</p> <p>该函数能够一次获取多个 output 数据。其中每个 output 是 rknn_output 结构体对象，在函数调用之前需要依次创建并设置每个 rknn_output 对象。另外，在推理结束前该函数会一直阻塞（除非有异常出错）。output 结果最后会被存至 outputs[] 数组。</p> <p>对于 output 数据的 buffer 存放可以采用两种方式：一种是用户自行申请和释放，此时 rknn_output 对象的 is_prealloc 需要设置为 TRUE，并且将 buf 指针指向用户申请的 buffer；另一种是由 rknn 来进行分配，此时 rknn_output 对象的 is_prealloc 设置为 FALSE 即可，函数执行之后 buf 将指向 output 数据。</p>
<p>参数</p>	<p>rknn_context context: context 的对象。</p> <p>uint32_t n_outputs: outputs 数组的个数，该个数要与 rknn 模型的 output 个数一致。（rknn 模型的 output 个数可以通过 rknn_query 查询得到。）</p> <p>rknn_output outputs[]: output 数据的数组，其中数组每个元素为 rknn_output 结构体对象，代表模型的一个 output。</p> <p>rknn_output_extend* extend: 扩展信息的指针，用于输出当前 output 对应的帧的信息，如 frame_id（详见 rknn_api.h 的 rknn_output_extend 定义）。如不用，可赋 NULL。</p>
<p>返回值</p>	<p>int 错误码（见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a>）</p>

示例代码如下：

```
rknn_output outputs[io_num.n_output];
memset(outputs, 0, sizeof(outputs));
for (int i = 0; i < io_num.n_output; i++) {
    outputs[i].want_float = TRUE;
    outputs[i].is_prealloc = FALSE;
}
ret = rknn_outputs_get(ctx, io_num.n_output, outputs, NULL);
```

更详细的使用方法见【[RKNN API 基本调用流程](#)】章节的步骤 6。

### 3.1.7 rknn\_outputs\_release

API	<code>int rknn_outputs_release(rknn_context context, uint32_t n_outputs, rknn_output outputs[])</code>
功能	<p>释放由 <code>rknn_outputs_get</code> 获取的 <code>outputs</code>。</p> <p>在 <code>outputs</code> 不再使用时需要调用该函数进行 <code>outputs</code> 的释放（不管 <code>rknn_output[x].is_prealloc</code> 是 <code>TRUE</code> 还是 <code>FALSE</code> 都需要调用该函数进行最终的释放）。</p> <p>该函数被调用后，当 <code>rknn_output[x].is_prealloc = FALSE</code> 时，由 <code>rknn_outputs_get</code> 获取的 <code>rknn_output[x].buf</code> 地址也会被自动释放；当 <code>rknn_output[x].is_prealloc = ture</code> 时，<code>rknn_output[x].buf</code> 则需要用户自己主动释放。</p>
参数	<p><code>rknn_context context</code>: <code>context</code> 的对象</p> <p><code>uint32_t n_outputs</code>: <code>outputs</code> 数组的个数，该个数要与 <code>rknn</code> 模型的 <code>output</code> 个数一致。（<code>rknn</code> 模型的 <code>output</code> 个数可以通过 <code>rknn_query</code> 查询得到）</p> <p><code>rknn_output outputs[]</code>: <code>outputs</code> 的数组指针</p>
返回值	<code>int</code> 错误码（见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> ）

示例代码如下

```
ret = rknn_outputs_release(ctx, io_num.n_output, outputs);
```

### 3.1.8 rknn\_find\_devices

API	<code>int rknn_find_devices(rknn_devices_id* pdevs)</code>
功能	查找连接到 Host 的设备信息。
参数	<code>rknn_devices_id* pdevs</code> : 设备信息的结构体指针
返回值	<code>int</code> 错误码（见 <a href="#">rknn 返回值错误码</a> ）

示例代码如下

```

rknn_devices_id devids;
ret = rknn_find_devices (&devids);
printf("n_devices = %d\n", devids.n_devices);
for(int i=0; i<devids.n_devices; i++) {
    printf("%d:  type=%s, id=%s\n", i, devids.types[i], devids.ids[i]);
}

```

## 3.2 RKNN 数据结构定义

### 3.2.1 rknn\_input\_output\_num

结构体 `rknn_input_output_num` 表示 input 和 output 的 Tensor 个数，其结构体成员变量如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
<code>n_input</code>	<code>uint32_t</code>	Input Tensor 个数
<code>n_output</code>	<code>uint32_t</code>	Output Tensor 个数

### 3.2.2 rknn\_tensor\_attr

结构体 `rknn_tensor_attr` 表示模型的 Tensor 的属性，结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
<code>index</code>	<code>uint32_t</code>	表示 input 或 output 的 Tensor 的索引。 当使用 <code>rknn_query</code> 查询前，该 <code>index</code> 需要进行设置。
<code>n_dims</code>	<code>uint32_t</code>	Tensor 维度个数。
<code>dims</code>	<code>uint32_t[]</code>	Tensor 各维度值。
<code>name</code>	<code>char[]</code>	Tensor 名称。
<code>n_elems</code>	<code>uint32_t</code>	Tensor 数据元素个数。

size	uint32_t	Tensor 数据所占内存大小。
fmt	rknn_tensor_format	Tensor 维度的格式，有以下格式：  RKNN_TENSOR_NCHW  RKNN_TENSOR_NHWC
type	rknn_tensor_type	Tensor 数据类型，有以下数据类型：  RKNN_TENSOR_FLOAT32  RKNN_TENSOR_FLOAT16  RKNN_TENSOR_INT8  RKNN_TENSOR_UINT8  RKNN_TENSOR_INT16
qnt_type	rknn_tensor_qnt_type	Tensor 量化类型，有以下的量化类型：  RKNN_TENSOR_QNT_NONE：未量化；  RKNN_TENSOR_QNT_DFP：动态定点法量化；  RKNN_TENSOR_QNT_AFFINE_ASYMMETRIC：非对称量化。
fl	int8_t	RKNN_TENSOR_QNT_DFP 量化类型的参数。
zp	uint32_t	RKNN_TENSOR_QNT_AFFINE_ASYMMETRIC 量化类型的参数。
scale	float	RKNN_TENSOR_QNT_AFFINE_ASYMMETRIC 量化类型的参数。

### 3.2.3 rknn\_input

结构体 rknn\_input 表示模型的一个数据 input，用来作为参数传入给 rknn\_inputs\_set 函数。结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
------	------	----



index	uint32_t	该 input 的索引。
buf	void*	input 数据 Buffer 的指针。
size	uint32_t	input 数据 Buffer 所占内存大小。
pass_through	uint8_t	input 数据直通模式。  <b>TRUE:</b> input 数据不做任何转换直接传至 rknn 模型的 input 节点，因此下面的 type 和 fmt 不需要进行设置。  <b>FALSE:</b> input 数据会根据下面的 type 和 fmt 转换成跟模型的 input 节点一致的数据，因此下面的 type 和 fmt 需要进行设置。
type	rknn_tensor_type	input 数据的类型。
fmt	rknn_tensor_format	input 数据的格式。

### 3.2.4 rknn\_output

结构体 rknn\_output 表示模型的一个数据 output，用来作为参数传入给 rknn\_outputs\_get 函数。结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
want_float	uint8_t	标识是否需要将 output 数据转为 float 类型的 output。
is_prealloc	uint8_t	标识存放 output 数据的 Buffer 是否是预分配。
index	uint32_t	该 output 的索引。
buf	void*	output 数据 Buffer 的指针。
size	uint32_t	output 数据 Buffer 所占内存大小。

is\_prealloc 为 FALSE 时，在 rknn\_outputs\_get 函数执行后，结构体对象的 index/buf/size 成员将会被赋值，因此这三个成员变量不需要预先赋值。

`is_prealloc` 为 `TRUE` 时，结构体对象的 `index/buf/size` 需要预先被赋值，否则 `rknn_outputs_get` 函数调用会失败并报错。

### 3.2.5 rknn\_perf\_detail

结构体 `rknn_perf_detail` 表示模型的性能详情，结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
<code>perf_data</code>	<code>char*</code>	性能详情包含网络每层运行时间，能够直接打印出来查看。
<code>data_len</code>	<code>uint64_t</code>	存放性能详情的字符串数组的长度。

### 3.2.6 rknn\_perf\_run

结构体 `rknn_perf_run` 表示模型的单次推理的执行时间，结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
<code>run_duration</code>	<code>int64_t</code>	模型的单次推理的硬件执行时间，单位 <code>us</code> 。

### 3.2.7 rknn\_init\_extend

结构体 `rknn_init_extend` 表示 `rknn_init` 的扩展信息，用来作为参数传入给 `rknn_init` 函数，结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
<code>device_id</code>	<code>char*</code>	输入参数，用于选择当前连接的设备。如“0123456789ABCDEF”，该设备 <code>id</code> 可以通过 <code>adb devices</code> 进行查询。如果当前只有一个连接的设备，可以简单赋 <code>nullptr</code> 即可。

### 3.2.8 rknn\_run\_extend

结构体 `rknn_run_extend` 表示 `rknn_run` 的扩展信息，用来作为参数传入给 `rknn_run` 函数，

结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
frame_id	uint64_t	返回参数，表示当前 run 的帧 id。该 id 与 rknn_output_extend.frame_id 一一对应，在 rknn_run 和 rknn_outputs_get 处于不同线程的情况下，可以用来确定帧的对应关系。

### 3.2.9 rknn\_output\_extend

结构体 rknn\_output\_extend 表示 rknn\_outputs\_get 的扩展信息，用来作为参数传入给 rknn\_outputs\_get 函数，结构体的定义如下表所示：

成员变量	数据类型	含义
frame_id	uint64_t	返回参数，表示当前 output 的帧 id。该 id 与 rknn_run_extend.frame_id 一一对应，在 rknn_run 和 rknn_outputs_get 处于不同线程的情况下，可以用来确定帧的对应关系。

### 3.2.10 rknn\_sdk\_version

结构体 rknn\_sdk\_version 用来表示 RKNN SDK 的版本信息，结构体的定义如下：

成员变量	数据类型	含义
api_version	char[]	rknn api 的版本信息。
drv_version	char[]	rknn api 所基于的驱动版本信息。

### 3.2.11 rknn\_devices\_id

结构体 rknn\_devices\_id 用来表示设备列表信息，结构体的定义如下：

成员变量	数据类型	含义
------	------	----

n_devices	uint32_t	设备的个数。
types	char[][]	设备类型的列表。
ids	char[][]	设备 ID 的列表

### 3.2.12 rknn 返回值错误码

RKNN API 函数的返回值错误码定义如下表所示

错误码	错误详情
RKNN_SUCC	执行成功
RKNN_ERR_FAIL	执行出错
RKNN_ERR_TIMEOUT	执行超时
RKNN_ERR_DEVICE_UNAVAILABLE	NPU 设备不可用
RKNN_ERR_MALLOC_FAIL	内存分配失败
RKNN_ERR_PARAM_INVALID	传入参数错误
RKNN_ERR_MODEL_INVALID	传入的 RKNN 模型无效
RKNN_ERR_CTX_INVALID	传入的 rknn_context 无效
RKNN_ERR_INPUT_INVALID	传入的 rknn_input 对象无效
RKNN_ERR_OUTPUT_INVALID	传入的 rknn_output 对象无效
RKNN_ERR_DEVICE_UNMATCH	版本不匹配

## 3.3 RKNN API 基本调用流程

1) 读取 rknn 模型文件到内存，这边的 rknn 模型文件就是用前面介绍的 RKNN 模型转换工具生成的文件后缀为.rknn 的模型文件，如 mobilenet\_v1-tf.rknn。

2) 调用 rknn\_init 初始化 context 并加载 rknn 的模型。代码如下：

```
rknn_context ctx = 0;
ret = rknn_init(&ctx, model, model_len, RKNN_FLAG_PRIOR_MEDIUM);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_init fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

其中, ctx 为 context 对象; model 为 rknn 模型在内存里的指针; model\_len 为模型大小; RKNN\_FLAG\_PRIOR\_MEDIUM 为优先级标志位。(其他标志位详见 rknn\_api.h 的 RKNN\_FLAG\_XXX。)

- 3) rknn 模型的 input/output 属性可能已经和原始模型 (pb 或 caffe) 不同, 因此需要通过 rknn\_query 这个 api 获取 input 和 output 的属性, 如下:

```
rknn_input_output_num io_num;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_IN_OUT_NUM, &io_num, sizeof(io_num));
if(ret < 0) {
    printf("rknn_query fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

上述接口用于获取 input/output 的个数, 个数会存储在 io\_num.n\_input 和 io\_num.n\_output 里。

接下来获取 output 的属性:

```
rknn_tensor_attr output0_attr;
output0_attr.index = 0;
ret = rknn_query(ctx, RKNN_QUERY_OUTPUT_ATTR, &output0_attr,
sizeof(output0_attr));
if(ret < 0) {
    printf("rknn_query fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

上述接口用于获取某个 output 的属性, 记得填写 rknn\_tensor\_attr 的 index (该 index 不能大于等于前面获取的 output 的个数)。(属性定义详见 [rknn tensor attr](#))

获取某个 input 的属性方法与获取 output 属性方法类似。

- 4) 根据 rknn 模型的 input 参数和 input 数据的具体格式，调用 rknn\_input\_set 对 inputs 进行设置。代码如下：

```
rknn_input inputs[1];
inputs[0].index = input_index;
inputs[0].buf = img.data;
inputs[0].size = img_width * img_height * img_channels;
inputs[0].pass_through = FALSE;
inputs[0].type = RKNN_TENSOR_UINT8;
inputs[0].fmt = RKNN_TENSOR_NHWC;
ret = rknn_inputs_set(ctx, 1, inputs);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_input_set fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

首先，先创建 rknn\_input 数组（这边假设只有一个 input，因此数组大小设为 1），然后填充数组的每个数组项的每个成员。

其中：

inputs[0].index 为 rknn 模型的 input node 的索引。

inputs[0].buf 为 cpu 可以访问的 buffer 指针，一般是指向由 Camera 产生的图像数据，如 RGB888 的数据。

inputs[0].size 为 buffer 的大小。

inputs[0].pass\_through 为 input 数据直通模式选择。

**TRUE:** 如果用户传入的 input 数据的属性（主要是 type 和 fmt 以及量化参数）和通过 rknn\_query 查询得到的 input 属性一致，则可以将该变量设为 TRUE，同时下面的 type 和 fmt 无需进行设置。在这种模式下，rknn\_inputs\_set 会将用户传入的 input 数据直接传至 rknn 模型的 input 节点。

这种模式用于用户已知 rknn 模型的 input 属性，并且已经将原始输入数据自行转为与 rknn 模型 input 一致的数据。

**FALSE:** 如果用户传入的 input 数据的属性（主要是 type 和 fmt 以及量化参数）和通过 rknn\_query 查询得到的 input 属性不一致，则需要将该变量设为 FALSE，同时下面的 type 和 fmt 也需要根据用户传入的 input 数据进行设置。在这种模式下，rknn\_inputs\_set 函数会自动进行类型、格式的转换以及量化的处理。注意，目前这种模式下不支持用户传入使用动态定点量化 (DFP) 或非对称量化 (AFFINE ASYMMETRIC) 的 input 数据。

inputs[0].type 为 buffer 的数据类型，如果是 RGB888 的数据，则为 RKNN\_TENSOR\_UINT8。

inputs[0].fmt 为 buffer 的数据格式，也就是 NHWC 或 NCHW，一般 Camara 获取的数据格式为 RKNN\_TENSOR\_NHWC。

- 5) 在 inputs 参数设置完毕后，调用 rknn\_run 触发推理的操作，该函数正常情况下会立即返回，并不会阻塞（但是当有超过 3 次推理的结果没有通过 rknn\_outputs\_get 获取时则会阻塞，直至 rknn\_outputs\_get 被调用）。代码如下：

```
ret = rknn_run(ctx, NULL);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_run fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

- 6) 执行完 rknn\_run，可以调用 rknn\_outputs\_get 等待推理完成，该函数会阻塞直到推理完成，推理完成后可以获取推理的结果。代码如下：

```
rknn_output outputs[1];
outputs[0].want_float = TRUE;
outputs[0].is_prealloc = FALSE;
ret = rknn_outputs_get(ctx, 1, outputs, NULL);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_outputs_get fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

首先，先创建 rknn\_output 数组（这边假设只有一个 output，因此数组大小设为 1）。

`rknn_output` 结构体的前两个成员变量必须赋值，分别是 `outputs[0].want_float` 和 `outputs[0].is_prealloc`。

**want\_float:** 由于 rknn 模型的 output 可能与转换前的原始模型的 output 不一致，一般情况下，rknn 模型的 output 类型为 UINT8 或 FP16（rknn 模型的 output 具体属性可以通过 `rknn_query` 查询获得），如果用户希望获得的是 FP32 的浮点 output 数据，则可以将该变量置为 `true`；如果希望获得是 rknn 模型原始的 output 数据，则置为 `FALSE` 即可。

**is\_prealloc = FALSE:** 如果用户没有预先分配各个 output 的 buffer，可以将该预分配标志设为 `FALSE`，剩下的 `outputs[0]` 结构体的其余成员变量则不需要赋值。函数返回后，推理的结果会存储在 `output[0]` 结构体中，其中：

`outputs[0].index` 为对应 output 的 node 索引。

`outputs[0].buf` 为存放推理结果的 buf 指针。

`outputs[0].size` 为推理结果的 size 大小。

另外，该 `output[0]` 推理结果的其他属性可以通过 `rknn_query` 查询得到。这边需要注意的是，`outputs[0].buf` 在 `rknn_outputs_release` 函数被调用时会自动释放，因此不需要用户主动释放。

**is\_prealloc = TRUE:** 如果用户有预先分配 output 的 buffer，则需要将预分配标志 `outputs[0].is_prealloc` 设为 `TRUE`，同时 `outputs[0]` 结构体的其余成员变量也需要赋值，如下：



```
rknn_output outputs[1];
outputs[0].want_float = TRUE;
outputs[0].is_prealloc = TRUE;
outputs[0].index = 0;
outputs[0].buf = output0_buf;
outputs[0].size = output0_attr.n_elems * sizeof(float);
ret = rknn_outputs_get(ctx, 1, outputs, NULL);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_outputs_get fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

其中：

`outputs[0].index` 为对应 output 的 node 索引。用户需要指定获取的 output 的 index, 该 index 需小于 rknn 模型的 output 个数(rknn 模型的 output 个数可由 `rknn_query` 查询得到)。

`outputs[0].buf` 为存放推理结果的 buf 指针。该 buf 需要用户提前创建好。

`outputs[0].size` 为推理结果的 size 大小。也就是用户创建 buf 的 size。该 size 需要根据相应的 output 的属性以及 `want_float` 变量来计算。

当 `want_float` 为 FALSE 时, 该 size 等于 `output0_attr.size`;

当 `want_float` 为 TRUE 时, 该 size 等于 `output0_attr.n_elems*sizeof(float)`。

(`output0_attr` 为通过 `rknn_query` 查询 index 为 0 的 output 属性)

`rknn_outputs_get` 函数返回后, 相应 index 的推理结果会存储在用户创建的 `output[0].buf` 里, 由于该 buf 是用户创建的, 在不需要再使用时, 用户需主动释放以避免内存泄漏。

- 7) 当由 `rknn_outputs_get` 获取的所有 outputs 不再需要使用之后, 需要调用 `rknn_outputs_release` 对该 outputs 进行释放, 否则会造成内存泄漏。代码如下:

```
rknn_outputs_release(ctx, 1, outputs);
```

该函数的传参方式与 `rknn_outputs_get` 类似。

需要注意的是,不管 `rknn_outputs_get` 传入的 `rknn_output[x].is_prealloc` 是 TRUE 还是 FALSE 都需要调用该函数对 `output` 进行最终的释放。

- 8) 需要进行多次推理,可跳回步骤 4 进行下一次推理。
- 9) 程序需要退出时,需要调用 `rknn_destroy` 卸载 `rknn` 模型并销毁 `context`。代码如下:

```
rknn_destroy(ctx);
```

更具体代码请参见 API SDK 的 Linux 目录下的:

```
rknn_api_sdk/rknn_mobilenet.cpp 和 rknn_api_sdk/rknn_ssd.cpp
```

或 Android 目录下的:

```
rk_ssd_demo/app/src/main/jni/ssd_image.cc
```

## 4 Demo 使用说明

### 4.1 Linux Arm Demo

#### 4.1.1 编译说明

API SDK 的 Linux 目录下提供了两个使用 RKNN API 的 Demo,一个是基于 MobileNet 模型图像分类器 Demo,另一个是基于 MobileNet-SSD 模型的目标检测 Demo。

进入 `Linux/rknn_api_sdk` 目录,这两个 Demo 的主源文件为 `rknn_api_sdk/rknn_mobilenet.cpp` 和 `rknn_api_sdk/rknn_ssd.cpp`,具体编译方法如下:

- 1) 安装 arm 交叉编译工具,执行:

```
sudo apt install gcc-aarch64-linux-gnu
```

```
sudo apt install g++-aarch64-linux-gnu
```

```
2) cd rknn_api_sdk; mkdir build_arm; cd build_arm
```

```
3) cmake -DCMAKE_SYSTEM_NAME=Linux -DCMAKE_C_COMPILER=aarch64-linux-gnu-gcc -DCMAKE_CXX_COMPILER=aarch64-linux-gnu-g++ ..
```

```
4) make
```

make 结束后即可在 rknn\_api\_sdk/build\_arm/生成 rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 两个可执行文件。

注：目前该 Demo 只适用于 64 位的 Linux Arm 系统，同时只提供 64 位的 rknn\_api 库。该 Demo 在 RK3399Pro 64 位 Linux 系统上验证通过。

#### 4.1.2 运行说明

rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 的运行需要将相关依赖库拷贝至/usr/lib/或/usr/lib64/下，同时将相关资源文件拷贝至/tmp 目录下，具体步骤如下：

1) 将 rknn\_api\_sdk/3rdparty/opencv/arm/lib64 和 rknn\_api\_sdk/rknn\_api/arm/lib64 目录下的文件拷贝至目标板的/usr/lib/或/usr/lib64/目录下。

2) 将 API SDK 的 Linux/tmp/目录下的资源文件拷贝至目标板的/tmp/目录下。

3) 将上述 rknn\_api\_sdk/build\_arm 目录里编译生成的 rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 也拷贝至目标板的/tmp/目录下。

4) 进入目标板的/tmp 目录执行：

```
./rknn_mobilenet
```

执行成功后会有执行时间和检测结果的打印。

进入目标板的/tmp 目录执行：

```
./rknn_ssd
```

执行成功后会有执行时间和检测结果的打印，同时还会在目标板的/tmp 目录下生成包含

检测结果的图像 out.jpg，可以导出 out.jpg 查看检测结果。

## 4.2 Linux X86 Demo

### 4.2.1 编译说明

API SDK 的 Linux 目录下提供了两个使用 RKNN API 的 Demo，一个是基于 MobileNet 模型图像分类器 Demo，另一个是基于 MobileNet-SSD 模型的目标检测 Demo。

进入 Linux/rknn\_api\_sdk 目录，这两个 Demo 的主源文件为 rknn\_api\_sdk/rknn\_mobilenet.cpp 和 rknn\_api\_sdk/rknn\_ssd.cpp，具体编译方法如下：

1) cd rknn\_api\_sdk; mkdir build\_x86; cd build\_x86; cmake ..

2) make

make 结束后即可在 rknn\_api\_sdk/build\_x86/生成 rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 两个可执行文件。

注：目前该 Demo 只适用于 64 位的 X86 Linux 系统，同时只提供 64 位的 rknn\_api 库。该 Demo 在 Ubuntu16.04 64 位系统上验证通过。

### 4.2.2 运行说明

rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 的运行需要将相关依赖库和相关资源文件拷贝至/tmp 目录下，具体步骤如下：

1) 将 rknn\_api\_sdk/3rdparty/opencv/x86/lib64 和 rknn\_api\_sdk/rknn\_api/x86/lib64 目录下的文件拷贝/tmp/目录下。

2) 将 API SDK 的 Linux/tmp/目录下的资源文件拷贝至/tmp/目录下。

3) 将上述 rknn\_api\_sdk/build\_x86 目录里编译生成的 rknn\_mobilenet 和 rknn\_ssd 也拷贝

至/tmp/目录下。

4) 将 npu\_transfer\_proxy 发布包里的 linux-x86\_64/npu\_transfer\_proxy 也拷贝至/tmp/目录下。

5) 确认 RK1808 已经通过 USB 连接到 PC 机, 并通过 lsusb 能看到如下的设备信息:

```
Bus 001 Device 032: ID 2207:0019
```

6) 进入/tmp 目录, 先后台执行代理服务:

```
sudo ./npu_transfer_proxy &
```

然后执行:

```
export LD_LIBRARY_PATH=/tmp
```

```
./rknn_mobilenet
```

执行成功后会有执行时间和检测结果的打印。

执行:

```
export LD_LIBRARY_PATH=/tmp
```

```
./rknn_ssd
```

执行成功后会有执行时间和检测结果的打印, 同时还会在/tmp 目录下生成包含检测结果的图像 out.jpg, 可以打开 out.jpg 查看检测结果。

## 4.3 Android Demo

### 4.3.1 编译说明

API SDK 的 Android 目录下有一个 rknn\_api 目录和一个 rk\_ssd\_demo 目录。

如想直接使用 RKNN API 来开发自己的 JNI 库, 则 JNI 库可以直接包含 rknn\_api 里的

include/rknn\_api.h 和 lib64/librknn\_api.so 来调用到 rknn\_api。

Android/rk\_ssd\_demo 目录为使用 RKNN API 的基于 MobileNet-SSD 模型的目标检测 Demo。该 demo 完整的 ssd 目标检测 demo，包含了 java 和 jni 的部分，其中 jni 目录的路径为：rk\_ssd\_demo/app/src/main/jni。该 jni 目录里已经包含了 rknn\_api.h 头文件，另外 librknn\_api.so 的存放路径为：rk\_ssd\_demo/app/src/main/jniLibs/arm64-v8a。

rk\_ssd\_demo 的具体编译方法如下：

进入 rk\_ssd\_demo 目录，运行 AndroidStudio 打开该目录的工程文件，编译并生成 apk 即可。  
(需要 NDK 的支持，在 android-ndk-r16b 上验证通过)。

#### 4.3.2 运行说明

直接在 Android 上运行该 apk 即可。(该 Demo 需要有板载摄像头或外接的 USB 摄像头支持)

## 5 附录

### 5.1 API 迁移说明

#### 5.1.1 v0.9.1 到 v0.9.2

由于从 v0.9.1 到 v0.9.2 的 API 变化较大，用户可以根据以下迁移步骤以及上述的 API 说明进行代码的迁移，大致步骤如下：

- 1) 由于 context 句柄的定义由原先的 int 类型修改为 rknn\_context 类型，因此 context 变量的定义以及 rknn\_init 的使用略有变化，代码可由原先的：

```
int ret = 0;
int ctx = rknn_init(model, model_len, RKNN_FLAG_PRIOR_MEDIUM);
if(ctx < 0) {
    printf("rknn_init fail! ret=%d\n", ctx);
    goto Error;
}

...

if(ctx >= 0)    rknn_destroy(ctx);
```

修改为：

```
int ret = 0;
rknn_context ctx = 0;
ret = rknn_init(&ctx, model, model_len, RKNN_FLAG_PRIOR_MEDIUM);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_init fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}

...

if(ctx)          rknn_destroy(ctx);
```

注：红色为变化的部分。

- 2) 由于 rknn\_input\_set 函数需要支持除 INT8 以外的数据类型和格式，因此函数定义也进行了调整，代码可由原先的：

```
ret = rknn_input_set(ctx, input_index, img.data, img_width * img_height *
img_channels, RKNN_INPUT_ORDER_012);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_input_set fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

修改为：

```
rknn_input inputs[1];
inputs[0].index = input_index;
inputs[0].buf = img.data;
inputs[0].size = img_width * img_height * img_channels;
inputs[0].pass_through = false;
inputs[0].type = RKNN_TENSOR_UINT8;
inputs[0].fmt = RKNN_TENSOR_NHWC;
ret = rknn_inputs_set(ctx, 1, inputs);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_input_set fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

注：红色为变化的部分。另外，原先代码的 RKNN\_INPUT\_ORDER\_012 参数已经不需要进行设置，rknn\_inputs\_set 函数也多了个 s。



- 3) v0.9.2 里将 `rknn_outputs_get` 和 `rknn_output_to_float` 函数进行了合并，并增加了新的内存使用方式，因此变化较大，代码可由原先的：

```
int h_output = -1;
struct rknn_output outputs[2];
h_output = rknn_outputs_get(ctx, 2, outputs, nullptr);
if(h_output < 0) {
    printf("rknn_outputs_get fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

修改为：

```
rknn_output outputs[2];
outputs[0].want_float = true;
outputs[0].is_prealloc = false;
outputs[1].want_float = true;
outputs[1].is_prealloc = false;
ret = rknn_outputs_get(ctx, 2, outputs, nullptr);
if(ret < 0) {
    printf("rknn_outputs_get fail! ret=%d\n", ret);
    goto Error;
}
```

注：红色为变化的部分。上述的 `outputs` 个数以 2 为例，其他模型可根据实际情况进行修改。

- 4) 由于 `rknn_outputs_get` 已经合并了 `rknn_output_to_float` 函数的功能（也就是上面的 `want_float` 标志），因此原先的 `rknn_output_to_float` 调用步骤可以去掉，代码可由原先的：

```
float *predictions = (float*)(outputs[0].buf);
if(outputs_attr[0].type != RKNN_TENSOR_FLOAT32) {
    predictions = (float*)malloc(output_size1);
    rknn_output_to_float(ctx, outputs[0], (void*)predictions,
output_size1);
}
float *outputClasses = (float*)(outputs[1].buf);
if(outputs_attr[1].type != RKNN_TENSOR_FLOAT32) {
    outputClasses = (float*)malloc(output_size2);
    rknn_output_to_float(ctx, outputs[1], (void*)outputClasses,
output_size2);
}
...

if(outputs_attr[0].type != RKNN_TENSOR_FLOAT32) {
    free(predictions);
}
if(outputs_attr[1].type != RKNN_TENSOR_FLOAT32) {
    free(outputClasses);
}
```

修改为:

```
float *predictions = (float*)(outputs[0].buf);
float *outputClasses = (float*)(outputs[1].buf);
```

注: 红色为变化的部分。上述以 MobileNet-SSD 的后处理为例, 其他模型可根据实际情况进行修改。

- 5) 因为上述 rknn\_outputs\_get 调用时设置了 want\_float 为 true, 所以 outputs[x].size 大值和通过 rknn\_query 查询到的 outputs\_attr[x].size 的值可能不一致, 因此判断 outputs[x].size 与查询的属性是否一致的判断条件也需要修改, 代码可由原先的:

```
// Process output
if(outputs[0].size == outputs_attr[0].size && outputs[1].size ==
outputs_attr[1].size)
{
    ...
}
```

修改为:

```
// Process output
if(outputs[0].size == outputs_attr[0].n_elems*sizeof(float) &&
outputs[1].size == outputs_attr[1].n_elems*sizeof(float))
{
    ...
}
```

注: 红色为变化的部分。上述的 outputs 个数以 2 为例, 其他模型可根据实际情况进行修改。

- 6) rknn\_outputs\_release 的使用方式也做了些调整, 其传参方式保持与 rknn\_outputs\_get 一致 (h\_output 无需再创建), 因此代码可由原先的:

```
rknn_outputs_release(ctx, h_output);
```

修改为:

```
rknn_outputs_release(ctx, 2, outputs);
```

注: 红色为变化的部分。