

密级状态：绝密( ) 秘密( ) 内部( ) 公开(√)

## RKNN\_Toolkit 自定义算子开发指南

(技术部，图形计算平台中心)

|                               |       |            |
|-------------------------------|-------|------------|
| 文件状态：<br>[ ] 正在修改<br>[√] 正式发布 | 当前版本： | V1.7.3     |
|                               | 作 者：  | 杨华聪        |
|                               | 完成日期： | 2022-08-07 |
|                               | 审 核：  | 熊伟         |
|                               | 完成日期： | 2022-08-07 |

瑞芯微电子股份有限公司

Rockchip Electronics Co., Ltd

(版本所有，翻版必究)

## 更新记录

| 版本     | 修改人 | 修改日期       | 修改说明                             | 核定人 |
|--------|-----|------------|----------------------------------|-----|
| V0.1.0 | 杨华聪 | 2019-08-22 | 初始版本                             | 熊伟  |
| V1.3.2 | 饶洪  | 2020-04-02 | 增加算子配置文件中 target_platform 字段的说明。 | 熊伟  |
| V1.4.0 | 饶洪  | 2020-08-13 | 更新版本号                            | 熊伟  |
| V1.6.0 | 饶洪  | 2020-12-30 | 更新版本号                            | 熊伟  |
| V1.6.1 | 饶洪  | 2021-05-21 | 更新版本号                            | 熊伟  |
| V1.7.0 | 饶洪  | 2021-08-08 | 更新版本号                            | 熊伟  |
| V1.7.1 | 饶洪  | 2021-11-17 | 更新版本号                            | 熊伟  |
| V1.7.3 | 饶洪  | 2022-08-07 | 更新版本号                            | 熊伟  |

## 目 录

|         |                                  |    |
|---------|----------------------------------|----|
| 1       | 主要功能说明.....                      | 5  |
| 2       | 系统依赖说明.....                      | 5  |
| 3       | 使用说明.....                        | 6  |
| 3.1     | RKNN-TOOLKIT 自定义算子使用流程 .....     | 6  |
| 3.1.1   | 创建自定义算子 .....                    | 6  |
| 3.1.2   | 编写自定义算子代码 .....                  | 8  |
| 3.1.3   | 编译自定义算子 .....                    | 9  |
| 3.1.3.1 | 编译环境准备.....                      | 9  |
| 3.1.3.2 | 编译算子代码.....                      | 10 |
| 3.1.4   | 注册自定义算子 .....                    | 10 |
| 3.2     | 编写自定义算子 PYTHON 代码.....           | 10 |
| 3.2.1   | 实现 load_params_from_tf 函数.....   | 10 |
| 3.2.2   | 实现 compute_output_shape 函数 ..... | 11 |
| 3.2.3   | 实现 compute_output_tensor 函数..... | 12 |
| 3.3     | 编写 CPU KERNEL.....               | 12 |
| 3.3.1   | 读写输入输出 Tensor .....              | 13 |
| 3.3.2   | 读取参数 .....                       | 14 |
| 3.3.3   | 编写算子实现代码 .....                   | 16 |
| 3.4     | 编写 VX KERNEL.....                | 17 |
| 3.4.1   | 初始化 Kernel .....                 | 17 |
| 3.4.2   | 读取 Tensor 数据 .....               | 18 |
| 3.4.3   | 写入 Tensor 数据 .....               | 19 |
| 3.4.4   | 编写算子实现代码 .....                   | 19 |
| 4       | 附录.....                          | 21 |

|     |             |    |
|-----|-------------|----|
| 4.1 | 参考文档 .....  | 21 |
| 4.2 | 问题反馈渠道..... | 21 |

Rockchip

## 1 主要功能说明

当模型含有 RKNN-Toolkit 不支持的算子 (operator)，模型转换将失败。针对这种情况，RKNN Toolkit 提供自定义算子功能，允许用户自行实现相应算子，从而使模型能正常转换和运行。

当前自定义算子功能还属于实验阶段，后续接口可能还会进行调整，目前只能在 Linux x64 平台上使用，并且只支持 TensorFlow 模型。

## 2 系统依赖说明

1) 操作系统: Linux x64

2) 依赖软件

- a) RKNN-Toolkit 1.2.0 版本及以上
- b) gcc
- c) gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86\_64\_aarch64-linux-gnu
- d) gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86\_64\_arm-linux-gnueabi

3) 目标设备驱动依赖

a) RK1808 平台

RK1808 平台的 librknn\_runtime 版本需要 1.2.0 以上，可以在 RK1808 的 shell 中输入如下命令查看：

```
$ strings /usr/lib64/librknn_runtime.so | grep "librknn_runtime version"
```

b) RK3399Pro 平台

RK3399Pro 平台 DRV 版本需要 0.9.9 以上，当运行应用时候会有如下日志打印，可以通过日志中的 DRV 版本判断是否满足要求。

```
=====
RKNN VERSION:
```

```
API: 0.9.9 (a949908 build: 2019-08-22 22:20:52)
```

```
DRV: 0.9.9 (c12de8a build: 2019-08-22 20:10:17)
=====
```

c) RK1806、RV1109 和 RV1126 平台

RK1806、RV1109 和 RV1126 平台 DRV 版本需要 1.3.2 以上，当运行应用时会有如下日志打印，可以通过日志中的 DRV 版本判断是否满足要求。

```
=====
RKNN VERSION:
```

```
API: 1.3.2 (9eebd73 build: 2020-04-02 15:30:51)
```

```
DRV: 1.3.2 (7576518 build: 2020-04-03 10:04:44)
=====
```

### 3 使用说明

#### 3.1 RKNN-Toolkit 自定义算子使用流程

##### 3.1.1 创建自定义算子

###### 1) 自定义算子配置文件

自定义算子通过一个 YAML 格式的配置文件来定义，以下是 RKNN-Toolkit 带的自定义算子示例（配置文件位于 example/custom\_op/rknn\_custom\_op\_resize/resize\_area.yml）：

```
name: ResizeArea
framework: tensorflow
target_platform: RK1808
inputs:
  input:
    type: VX_TYPE_TENSOR
outputs:
  output:
    type: VX_TYPE_TENSOR
params:
  size:
    type: VX_TYPE_ARRAY
  align_corners:
    type: VX_TYPE_BOOL
```

YAML 配置文件的要求如下：

- **name:** 算子名称，需要与原模型的算子名称一致
- **framework:** 原模型框架，目前只支持 tensorflow
- **target\_platform:** 目标芯片平台。目前支持 RK1806, RK1808, RK3399Pro, RV1109, RV1126 等芯片。其中基于 RK1806, RK1808 和 RK3399Pro 生成的 op 可以通用，但不能在 RV1109、RV1126 芯片上使用；而基于 RV1109 和 RV1126 生成的 op 可以通用，但不能在 RK1806, RK1808 或 RK3399Pro 芯片上使用。如果不填写该字段，则默认的 target\_platform 为“RK1808”。
- **inputs:** 定义算子输入，每个输入的命名需要不同，每个输入项的配置只需要填写 type。
- **outputs:** 定义算子输出，每个输出的命名需要不同，每个输入项的配置只需要填写 type。
- **params:** 定义算子参数，每个参数的命名需要不同，每个参数项的配置只需填写 type (type 支持 VX\_TYPE\_ARRAY 和标量类型，标量类型具体参见“[读取参数](#)”章节)。

开发者可参考上述配置来编写自己的自定义算子配置。

## 2) 生成自定义算子代码

编写完自定义算子的配置文件之后，可以通过以下命令来生成自定义算子的代码。

```
cd example/custom_op/rknn_custom_op_resize
python3 -m rknn.bin.custom_op --action create --config ./resize_area.yml --op_path ./resize_area
```

执行完成之后在 resize\_area 目录会生成算子代码。

rknn.bin.custom\_op 命令的参数如下：

- **--action/-a:** 传入“create”执行创建算子代码操作；传入“build”执行编译算子代码操作；
- **--config/-c:** 算子配置文件的路径；
- **--op\_path/-p:** 存放算子代码的路径

### 3.1.2 编写自定义算子代码

一个自定义算子的代码清单如下所示：

```
resize_area
├── makefile.linux.aarch64
├── makefile.linux.armhf
├── makefile.linux.x64
├── op.yml
├── ResizeArea.rknnop
├── rknn_kernel_resizearea.c
├── rknn_kernel_resizearea.vx
└── rknn_op_resizearea.py
```

其中开发者需要完成的代码主要有：

#### 1) rknn\_op\_resizearea.py

该 Python 代码主要用于模型转换时获取 op 参数、计算输出 shape 以及定义输出 Tensor 的计算。

详细请参考本文档中的“[编写自定义算子 Python 代码](#)”章节。

#### 2) rknn\_kernel\_resizearea.c

该 C 代码主要包括 kernel 初始化相关回调和 CPU 的 kernel 函数。初始化回调函数用于检查和配置 Kernel 的参数。CPU 的 Kernel 函数的编写请参考本文档中的“[编写 CPU Kernel](#)”章节。

#### 3) rknn\_kernel\_resizearea.vx

可以通过编写 VX Kernel 使用 NPU 中的 PPU 模块进行加速，详细请参考本文档中的“[编写 VX Kernel](#)”章节。

#### 4) op.yml

op.yml 文件除了包含开发者定义的算子配置，还增加了几项配置。其中开发者有可能需要修改的配置项是 kernel\_index，该配置项用于选择执行哪个 kernel（即 rknn\_kernel\_resizearea.c 代码中的 vx\_kernel\_ResizeArea\_list 中的哪一项 kernel）。



```
name: ResizeArea
target_platform: rk1808
op_version: 2
framework: tensorflow
inputs:
  input:
    type: VX_TYPE_TENSOR
outputs:
  output:
    type: VX_TYPE_TENSOR
params:
  size:
    type: VX_TYPE_ARRAY
  align_corners:
    type: VX_TYPE_BOOL
out_binary: ResizeArea.rknnop
op_py_file: rknn_op_resizearea.py
vx_file: rknn_kernel_resizearea.vx
kernel_index: 0
```

### 3.1.3 编译自定义算子

#### 3.1.3.1 编译环境准备

##### 1) GCC 编译器安装

用户可直接通过系统包管理安装 GCC 编译器：

```
sudo apt-get install gcc
```

##### 2) 交叉编译器安装

首次编译时 RKNN-Toolkit 会检查是否有安装交叉编译器，如果没有会自动联网下载。用户也可以自己手动下载交叉编译器并安装到指定路径，方法如下：

```
wget
https://releases.linaro.org/components/toolchain/binaries/6.3-2017.05/aarch64-linux-gnu/gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_aarch64-linux-gnu.tar.xz
mkdir ~/.rknn
tar xvJf gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_aarch64-linux-gnu.tar.xz -C ~/.rknn/

wget
https://releases.linaro.org/components/toolchain/binaries/6.3-2017.05/arm-linux-gnueabi/gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_arm-linux-gnueabi.tar.xz
tar xvJf gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_arm-linux-gnueabi.tar.xz -C ~/.rknn/
```

### 3.1.3.2 编译算子代码

执行以下命令对自定义算子的代码进行编译，如果代码有错会中止编译并提示错误。当成功编译完成后，在算子的目录会生成 rknnop 文件。

```
python3 -m rknn.bin.custom_op --action build --op_path ./resize_area
```

### 3.1.4 注册自定义算子

只需要在模型转换前之前调用 register\_op 方法并将编译生成的 rknnop 文件路径传入，即可注册算子。如果有多个算子则调用多次 register\_op 方法分别注册，参考代码如下所示。

```
rknn.register_op('./resize_area/ResizeArea.rknnop')

rknn.load_tensorflow(...)
```

## 3.2 编写自定义算子 Python 代码

用户需要在生成的 python 代码中完成几个方法代码的编写，从而能够让 RKNN-Toolkit 获取足够的信息来完成转换和编译出 RKNN 模型。接下来一一介绍需要完成编写的 Python 方法。

### 3.2.1 实现 load\_params\_from\_tf 函数

在模型转换阶段会回调该函数来从 TensorFlow 的节点对象中得到算子参数。该函数声明如下

所示：

|     |   |
|-----|---|
| 函数  | load_params_from_tf                           |
| 功能  | 获取算子参数。                                       |
| 参数  | node_def: 该参数是 tf.NodeDef 对象，包括该节点对应的原始模型的信息。 |
|     | tensor_data_map: 包括了该节点所有的输入常量 Tensor。        |
| 返回值 | dict: 参数字典，每项参数的键需要与 YAML 配置中所一定的参数名称一致。      |

以下是该函数的示例代码：

```
def load_params_from_tf(self, node_def, tensor_data_map):
    p = dict()
    # set params dict
    p['size'] = tensor_data_map['C:out0'].tolist()
    p['align_corners'] = node_def.attr['align_corners'].b
    return p
```

### 3.2.2 实现 compute\_output\_shape 函数

在模型转换阶段会回调该函数来得到算子输出 Tensor 的 Shape 信息。该函数声明如下所示：

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| 函数  | compute_output_shape             |
| 功能  | 获取算子输出 Tensor 的 Shape。           |
| 参数  | inputs_shape: 该 op 的所有输入的 shape。 |
|     | params: 该节点的参数。                  |
| 返回值 | list: 输出 Tensor 的 Shape 的列表。     |

以下是该函数的示例代码：

```
def compute_output_shape(self, inputs_shape, params):
    outputs_shape = [Shape() for i in range(len(self.def_output))]
    # set outputs shape by set_shape()
    in_shape = inputs_shape[0].format('nhwc')
    in_channel = in_shape[-1]
    out_shape = []
    out_shape.extend(params['size'])
    out_shape.append(in_channel)
    outputs_shape[0].set_shape(shape=out_shape, fmt='nhwc')
    return outputs_shape
```

### 3.2.3 实现 compute\_output\_tensor 函数

模型量化阶段需要回调该函数来得到 op 的计算输出 Tensor。在该方法中，开发者可以通过调用 TensorFlow 函数或通过 tf.py\_func 与 Numpy 来定义算子计算方法。

|     |   |
|-----|---|
| 函数  | compute_output_tensor                                 |
| 功能  | 定义算子输出 Tensor 的计算方法。                                  |
| 参数  | const_tensor: 该节点的输入常量 tensor。                        |
|     | inputs_tensor: 该节点的输入 tensor 列表，列表每个元素为 tf.Tensor 对象。 |
|     | Params: 该节点的参数。                                       |
| 返回值 | list: 输出 Tensor（类型为 tf.Tensor）的列表。                    |

以下是该函数的示例代码：

```
def compute_output_tensor(self, const_tensor, inputs_tensor, params):
    outputs_tensor = list()
    # compute outputs tensor
    out = tf.image.resize_area(inputs_tensor[0],
                              size=params['size'],
                              align_corners=params['align_corners'])

    outputs_tensor.append(out)
    return outputs_tensor
```

## 3.3 编写 CPU Kernel

开发者可以先实现算子的 CPU 版本 Kernel 函数，可以比较容易编写和验证结果是否正确。生成的 C 代码文件的 cpu\_kernel\_function 函数为 CPU Kernel 函数，当网络执行到该层节点时，该函数会被回调。函数声明如下所示。

|     |   |
|-----|---|
| 函数  | cpu_kernel_function                                       |
| 功能  | 定义算子输出 Tensor 的计算方法。                                      |
| 参数  | vx_node node: 表示本节点。                                      |
|     | vx_reference* parameters: 按顺序分别存放输入 tensor、输出 tensor 和参数。 |
|     | uint32_t paramNum: 参数个数。                                  |
| 返回值 | vx_status: 参考 <a href="#">vx_status_e</a> 。               |

开发者首先需要从函数参数 vx\_reference \*parameter 读取输入 Tensor 数据, 然后进行计算处理, 最后将输出数据写入至输出 tensor 中, 下面将一一详细介绍。

### 3.3.1 读写输入输出 Tensor

cpu\_kernel\_function 的函数参数 vx\_reference \*parameter 按 C 代码中的变量 “kernel\_params” 所定义的顺序存放输入 Tensor、输出 Tensor 和算子参数。以下面 “kernel\_params” 的定义为例: parameter[0]为输入 tensor; parameter[1]为输出 tensor; parameter[2]和 parameter[3]为算子参数。

```
static vx_param_description_t kernel_params[] =
{
    {VX_INPUT, VX_TYPE_TENSOR, VX_PARAMETER_STATE_REQUIRED},
    {VX_OUTPUT, VX_TYPE_TENSOR, VX_PARAMETER_STATE_REQUIRED},
    {VX_INPUT, VX_TYPE_ARRAY, VX_PARAMETER_STATE_REQUIRED},
    {VX_INPUT, VX_TYPE_SCALAR, VX_PARAMETER_STATE_REQUIRED}
};
```

在 OpenVX 中 vx\_reference(参考 OpenVX 手册 [Object:vx\\_reference](#))是一个通用的引用, 可以被直接转换为其它类型, 如 vx\_tensor、vx\_array、vx\_scalar 等。因为输入 Tensor 都是 vx\_tensor 类型, 因此这里可以直接将 vx\_reference 转为 vx\_tensor 类型。

OpenVX 提供了接口能够查询和读写 vx\_tensor 对象 (参考 OpenVX 手册 [Object:Tensor](#))。

- **vxQueryTensor:** 查询 Tensor 属性 (支持查询 Tensor 的维度、维度数量、数据类型等);
- **vxCopyTensorPatch:** 往/从 Tensor 拷贝数据。

下面是 vx\_tensor 的示例代码(完整代码可以参考 RKNN\_Toolkit 带的示例 example/custom\_op):

```
vx_status status;
uint32_t dim_num;
uint32_t dims[4] = {0};
// Read Tensor Attributes
status = vxQueryTensor(tensor, VX_TENSOR_NUMBER_OF_DIMS,
                        &dim_num, sizeof(uint32_t));
status = vxQueryTensor(tensor, VX_TENSOR_DIMS,
                        size, sizeof(uint32_t) * dim_num);
.....
// Read Tensor Data
status = vxCopyTensorPatch((vx_tensor)parameters[0],
                           dim_num, view_start, view_end, stride_size,
                           src_buffer, VX_READ_ONLY, 0);

// Write Data to Tensor
status = vxCopyTensorPatch((vx_tensor)parameters[1],
                           dim_num, view_start, view_end, stride_size,
                           dst_buffer, VX_WRITE_ONLY, 0);
```

需要注意的是 vxCopyTensorPatch 的参数中的 view\_start、view\_end 和 user\_stride 参数。

- **view\_start**: 该参数表示要读取/写入 Tensor 的起始位置（类型为 vx\_size[]）；
- **view\_end**: 该参数表示要读取/写入 Tensor 的结束位置（类型为 vx\_size[]）；
- **stride\_size**: 该参数表示读取/写入 Tensor 的跨度（类型为 vx\_size[]），数组每个元素需要按如下赋值。

```
stride_size[0] = sizeof(element dtype)
stride_size[1] = dims[0] * stride_size[1]
stride_size[2] = dims[1] * stride_size[2]
stride_size[3] = dims[2] * stride_size[3]
```

### 3.3.2 读取参数

目前自定义算子的参数支持标量（VX\_TYPE\_SCALAR）和数组（VX\_ARRAY）两种，和 vx\_tensor 一样可以根据定义直接将 vx\_reference 转为 vx\_scalar 或 vx\_array 类型。

#### 1) 读取 vx\_scalar 类型参数

vx\_scalar 表示标量类型（参考 OpenVX 手册 [Object:Scalar](#)），包括的类型如下所示：

表 3-1 vx\_scalar 类型说明

| 原始类型               | OpenVX 类型  | vx_type_e 枚举值   |
|--------------------|------------|-----------------|
| char               | vx_char    | VX_TYPE_CHAR    |
| signed char        | vx_int8    | VX_TYPE_INT8    |
| unsigned char      | vx_uint8   | VX_TYPE_UINT8   |
| short              | vx_int16   | VX_TYPE_INT16   |
| unsigned short     | vx_uint16  | VX_TYPE_UINT16  |
| int                | vx_int32   | VX_TYPE_INT32   |
| unsigned int       | vx_uint32  | VX_TYPE_UINT32  |
| long long          | vx_int64   | VX_TYPE_INT64   |
| unsigned long long | vx_uint64  | VX_TYPE_UINT64  |
|                    | vx_float16 | VX_TYPE_FLOAT16 |
| float              | vx_float32 | VX_TYPE_FLOAT32 |
| double             | vx_float64 | VX_TYPE_FLOAT64 |
| int                | vx_enum    | VX_TYPE_ENUM    |
| unsigned int       | vx_size    | VX_TYPE_SIZE    |
|                    | vx_bool    | VX_TYPE_BOOL    |

OpenVX 提供了接口能够对 vx\_scalar 对象进行查询和读写，主要有：

- **vxCreateScalar:** 创建 vx\_scalar 对象；
- **vxCreateScalarWithSize:** 创建 vx\_scalar 对象（有对象大小参数）；
- **vxReleaseScalar:** 释放 vx\_scalar 对象；
- **vxQueryScalar:** 查询 vx\_scalar 对象（支持查询 vx\_scalar 的类型）；
- **vxCopyScalar:** 读写 vx\_scalar 对象；
- **vxCopyScalarWithSize:** 读写 vx\_scalar 对象（有对象大小参数）。

以下为 vx\_scalar 的示例代码：

```
vx_enum scalar_type;
vx_bool align_corners = 0;
vxQueryScalar((vx_scalar)parameters[3], VX_SCALAR_TYPE,
              &scalar_type, sizeof(vx_enum));
vxCopyScalar((vx_scalar)parameters[3], &align_corners,
             VX_READ_ONLY, VX_MEMORY_TYPE_HOST);
```

## 2) 读取 vx\_array 类型参数

OpenVX 使用 vx\_array 类型表示数组（参考 OpenVX 手册 [Object:Array](#)），对应的类型枚举值为 VX\_TYPE\_ARRAY。OpenVX 同样提供了一系列函数能够对 vx\_array 对象进行查询和读写，主要有：

- **vxCreateArray**：创建 vx\_array 对象；
- **vxReleaseArray**：释放 vx\_array 对象；
- **vxQueryArray**：查询 vx\_array 对象（支持查询数组项的类型、数组项的数量、数组容量以及数组项的大小）；
- **vxMapArrayRange**：映射 vx\_array 对象中的一段范围给用户访问。

以下为 vx\_array 的示例代码：

```
int32_t size[2];
vx_enum array_item_type;
vx_size array_item_num;

vxQueryArray((vx_array)parameters[2], VX_ARRAY_ITEMTYPE,
            &array_item_type, sizeof(vx_enum));
vxQueryArray((vx_array)parameters[2], VX_ARRAY_NUMITEMS,
            &array_item_num, sizeof(vx_size));

vxCopyArrayRange((vx_array)parameters[2], 0, 2, sizeof(int32_t), (void *)size,
                VX_READ_ONLY, VX_MEMORY_TYPE_HOST);
```

注意，当前自定义算子的 vx\_array 的 item\_type 都是 int32\_t 类型。

### 3.3.3 编写算子实现代码

获取算子输入 Tensor 的数据与参数之后，用户可以编写算子的实现代码。使用输入 Tensor 数据时需要注意算子的输入 Tensor 数据类型（因为自定义算子不会被量化，所以输入 Tensor 数据类型都为 float16）和排列顺序（默认为 NCHW）。



开发者也可以调用 OpenVX 提供的接口函数（参考 OpenVX 手册 [Vision Function](#)），需要注意的是，以 vxu 开头的函数才能直接调用得到结果。

## 3.4 编写 VX Kernel

可以通过编写 VX Kernel 使用 NPU 中的 PPU 模块进行加速。生成的代码中 C 代码包含对 VX kernel 的初始化、反初始化、参数验证等回调函数；vx 扩展名的文件为 kernel 函数。

注意，编写 VX Kernel 需要具备一定的 OpenCL 开发经验。

### 3.4.1 初始化 Kernel

初始化函数中，开发者需要根据自己需求来配置 Kernel 的执行参数。VX Kernel 执行参数和 OpenCL 的 NDRange 类似，都有 work-item 和 work-group 概念：

- **work-item**: 工作线程，每个 Work-item 有唯一的全局 ID（3 个维度[x, y, z]）。
- **work-group**: 由一个或多个 work-item 组成，是线程切换的基本单元。

VX Kernel 执行参数的定义如下所示

```
typedef struct _vx_kernel_execution_parameters {  
    vx_uint32 workDim;  
    vx_size globalWorkOffset[VX_MAX_WORK_ITEM_DIMENSIONS];  
    vx_size globalWorkScale[VX_MAX_WORK_ITEM_DIMENSIONS];  
    vx_size localWorkSize[VX_MAX_WORK_ITEM_DIMENSIONS];  
    vx_size globalWorkSize[VX_MAX_WORK_ITEM_DIMENSIONS];  
} vx_kernel_execution_parameters_t;
```

表 3-2 VX Kernel 执行参数说明

| 参数                  | 类型        | 描述   |
|---------------------|-----------|--|
| workDim             | vx_uint32 | work-item 的维度，有效值为 1, 2, 3。                            |
| GlobalWorkOffset[i] | vx_size   | work-item[i]的全局 ID 的初始偏移。                              |
| globalWorkScale[i]  | vx_size   | work-item[i]的全局 ID 的步进值。                               |
| localWorkSize[i]    | vx_size   | work-group 的大小。即一个 work-group 包含多少个 work-item。         |
| globalWorkSize[i]   | vx_size   | work-item 总的大小（globalWorkSize 必须是 localWorkSize 的整数倍）。 |

### 3.4.2 读取 Tensor 数据

在 VX Kernel 中读取输入 Tensor 数据可以使用 VXC\_ReadImage2DArray 函数。

|     |  |
|-----|--|
| 函数  | VXC_ReadImage2DArray(Dest, Image, Coord, Offset, Info)   |
| 功能  | 该函数可以从图像中读取最多 128bit 数据，也可以用于从 3 维 Tensor 中读取数据。   |
| 参数  | <p>Dest: 读取数据存放位置。</p> <p>Image: 要读取的 Image (Tensor)。</p> <p>Coord: 要读取的坐标 (int4)。</p> <p>Offset: XY 的偏移位置，可以使用以下宏函数设置：<br/>VXC_5BITOFFSET_XY(offsetX, offsetY)<br/>其中 offsetX 和 offsetY 值范围是-16~15。</p> <p>Info: 控制信息，可以使用以下宏函数设置：<br/>VXC_MODIFIER (StartBin, EndBin, SourceBin, RoundingMode, Clamp)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● StartBin: 目标存放的起始位置</li> <li>● EndBin: 目标存放的结束位置</li> <li>● SourceBin: 源起始位置</li> <li>● RoundingMode: 舍入模式，可以设置的值有 (VXC_RM_TowardZero: 向下取整；VXC_RM_TowardInf: 向上取整；VXC_RM_ToNearestEven: 最近取整)</li> <li>● Clamp: 目标类型较小时是否使用 Clamp 进行数据缩短。0 为 truncated；1 为 Clamp。</li> </ul> |
| 返回值 | void   |

以下为示例代码：

```
int4 Coord0 = int4(0,0,0,0);
VXC_ReadImage(Dst0, Image, Coord0, VXC_5BITOFFSET_XY(0,0),
              VXC_MODIFIER(0, 15, 0, VXC_RM_TowardZero, 0));
```

假设输入的 Image 为 3 维的 Tensor (NCHW)，那么上述代码将从第一个通道的第一行读取 16 个 Dest0 类型的数据。

### 3.4.3 写入 Tensor 数据

在 VX Kernel 中读取输入 Tensor 数据可以使用 VXC\_WriteImage2DArray 函数。

|     |  |
|-----|--|
| 函数  | VXC_WriteImage2DArray (Dest, Image, Coord, Offset, Info)   |
| 功能  | 该函数可以写入最多 128bit 数据到图像，也可以写入数据到 3 维 Tensor 中数据。  |
| 参数  | <p>Image: 要写入的 Image (Tensor) 对象。</p> <p>Coord: 要写入的坐标 (int4)。</p> <p>Color: 写入的数据。</p> <p>Info: 控制信息，可以使用以下宏函数设置：</p> <p>VXC_MODIFIER (StartBin, EndBin, SourceBin, RoundingMode, Clamp)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● StartBin: 目标存放的起始位置</li><li>● EndBin: 目标存放的结束位置</li><li>● SourceBin: 源起始位置</li><li>● RoundingMode: 舍入模式，可以设置的值有 (VXC_RM_TowardZero: 向下取整；VXC_RM_TowardInf: 向上取整；VXC_RM_ToNearestEven: 最近取整)</li><li>● Clamp: 目标类型较小时是否使用 Clamp 进行数据缩短。0 为 truncated；1 为 Clamp。</li></ul> |
| 返回值 | void   |

以下为示例代码

```
int4 Coord0 = int4(0,0,0,0);
VXC_WriteImage(Image, Coord0, Val0,
               VXC_MODIFIER(0, 15, 0, VXC_RM_TowardZero, 0));
```

假设输出的 Image 为 3 维的 Tensor (NCHW)，那么上述代码将 16 个 Val0 类型的数据写入第一个通道的第一行。

### 3.4.4 编写算子实现代码

除了 Tensor 的读取和写入函数，VX Kernel 的语法和 OpenCL1.2 Kernel 的编写基本一致，开

发者可以参考 [OpenCL1.2 官方指南](#) 来编写算子的实现代码。使用输入 Tensor 数据时需要注意算子的输入 Tensor 数据类型（因为自定义算子不会被量化，所以输入 Tensor 数据类型都为 **float16**）和排列顺序（默认为 **NCHW**）。

Rockchip

## 4 附录

### 4.1 参考文档

OP 支持列表: 《RKNN\_OP\_Support.md》

RKNN Toolkit 使用指南: 《Rockchip\_User\_Guide\_RKNN\_Toolkit\_CN.pdf》

快速上手指南: 《Rockchip\_Quick\_Start\_RKNN\_Toolkit\_CN.pdf》

问题排查手册: 《Rockchip\_Trouble\_Shooting\_RKNN\_Toolkit\_CN.pdf》

可视化功能使用指南: 《Rockchip\_User\_Guide\_RKNN\_Toolkit\_Visualization\_CN.pdf》

RKNN Toolkit Lite 使用指南: 《Rockchip\_User\_Guide\_RKNN\_Toolkit\_Lite\_CN.pdf》

以上文档均可在 SDK/doc 目录中找到, 也可以访问以下链接查阅:

<https://github.com/rockchip-linux/rknn-toolkit/tree/master/doc>

### 4.2 问题反馈渠道

请通过 RKNN QQ 交流群, Github Issue 或瑞芯微 redmine 将问题反馈给 Rockchip NPU 团队。

RKNN QQ 交流群: 1025468710

Github issue: <https://github.com/rockchip-linux/rknn-toolkit/issues>

Rockchip Redmine: <https://redmine.rock-chips.com/>

注: Redmine 账号需要通过销售或业务人员开通。如果是第三方开发板, 请先找原厂反馈问题。