

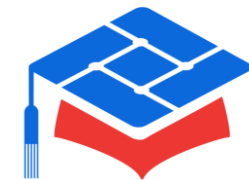
全国大学生集成电路创新创业大赛

CHINA COLLEGE IC COMPETITION

作品名称： 智能口罩佩戴识别芯片及系统设计

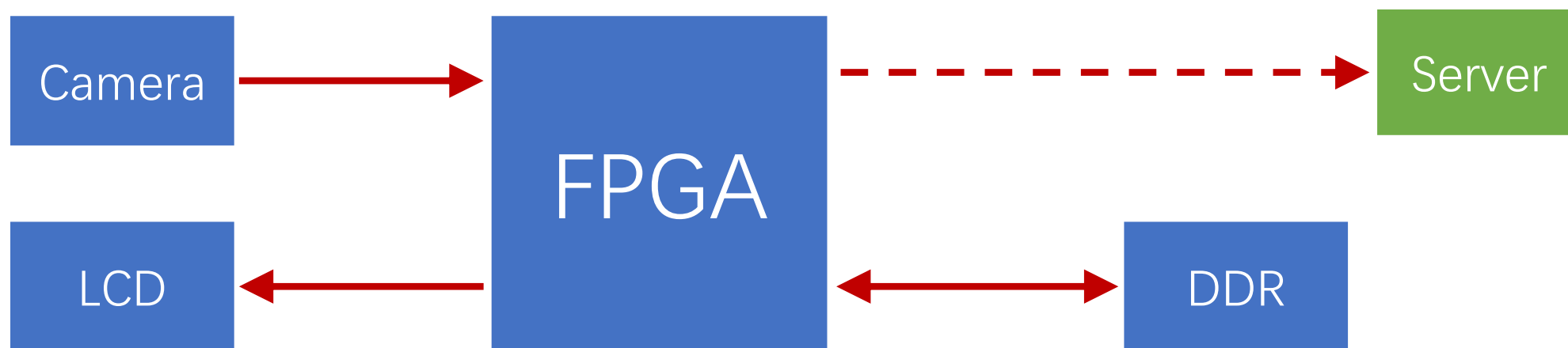
报名号： ASC125149

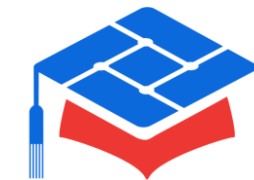
队伍名称： 旧的不去，芯的不来



■ 方案介绍 | 系统功能介绍

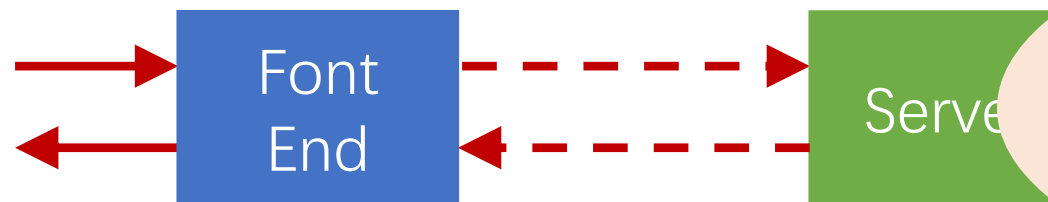
- ◆ 摄像头采集图片至FPGA，计算并定位人脸，标记每个人脸是否佩戴口罩，将结果显示在LCD上。
- ◆ 将未佩戴口罩的人脸信息上传到云端，以供记录和识别。





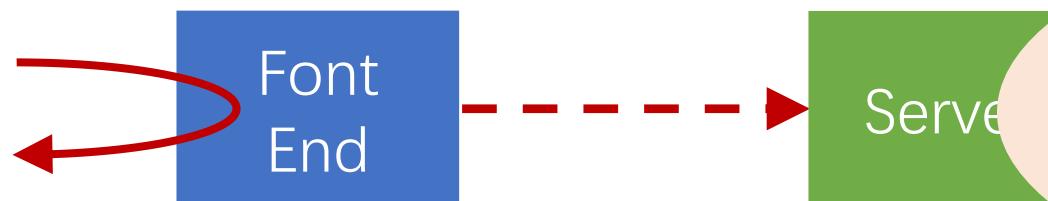
■ 方案介绍 | 创新点与市场前景

◆ 传统云端计算

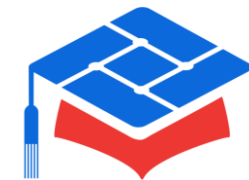


实时性差，造价昂贵，对基础设施（如网络质量）依赖型强等。

◆ 本设计前端计算



实时性好，部署方便，能够取代昂贵的设备，有利于对城市进行大面积的管理和布控，符合当今疫情局势下需求。



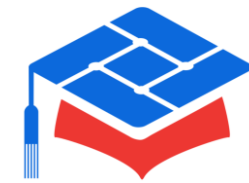
■ 方案介绍 | 算法模型介绍

- ◆ 传统图像处理方法 (性能较差, 要求图片较高相似度)
- ◆ YOLO (网络庞大, 应用于二分类过于浪费)
- ◆ MTCNN (执行流程复杂, 需单独后处理算法)



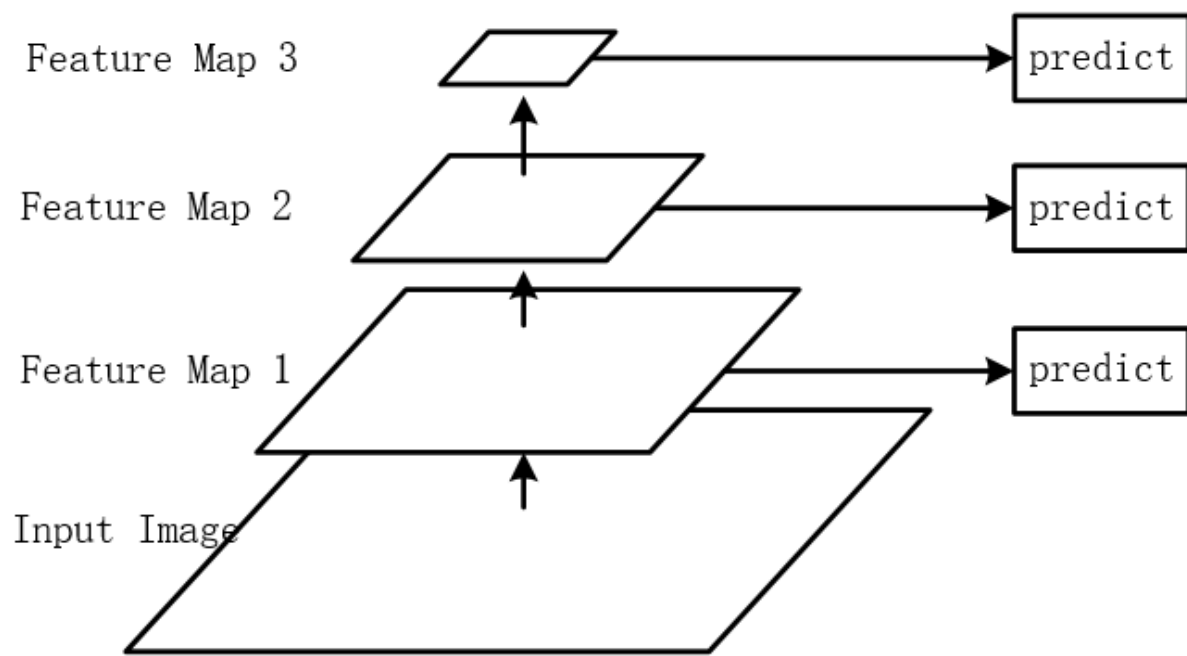
SSD算法

(Single Shot Detection)

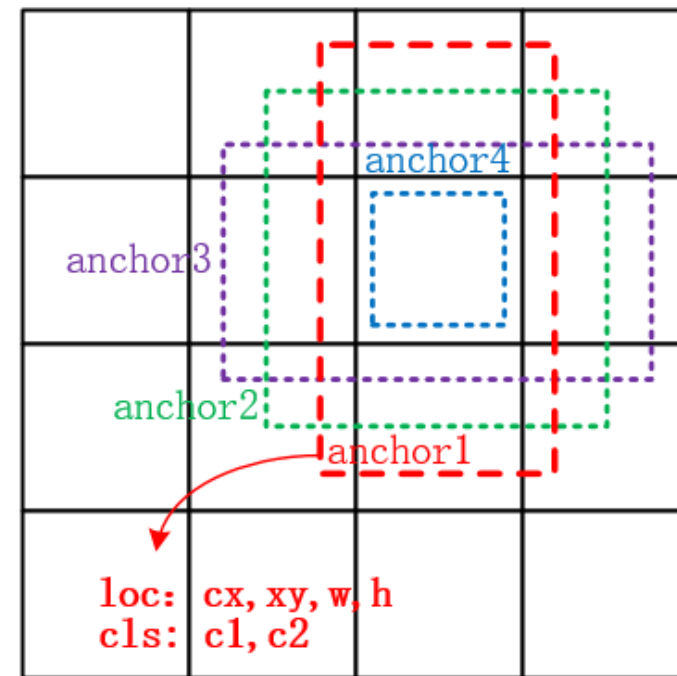


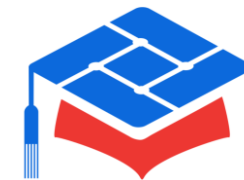
■ 方案介绍 | 算法模型介绍

- ◆ 多特征映射图、多比例Anchor
- ◆ 适用大比例范围、高密集度的目标检测



4*4 Feature Map





方案介绍 | 算法模型介绍

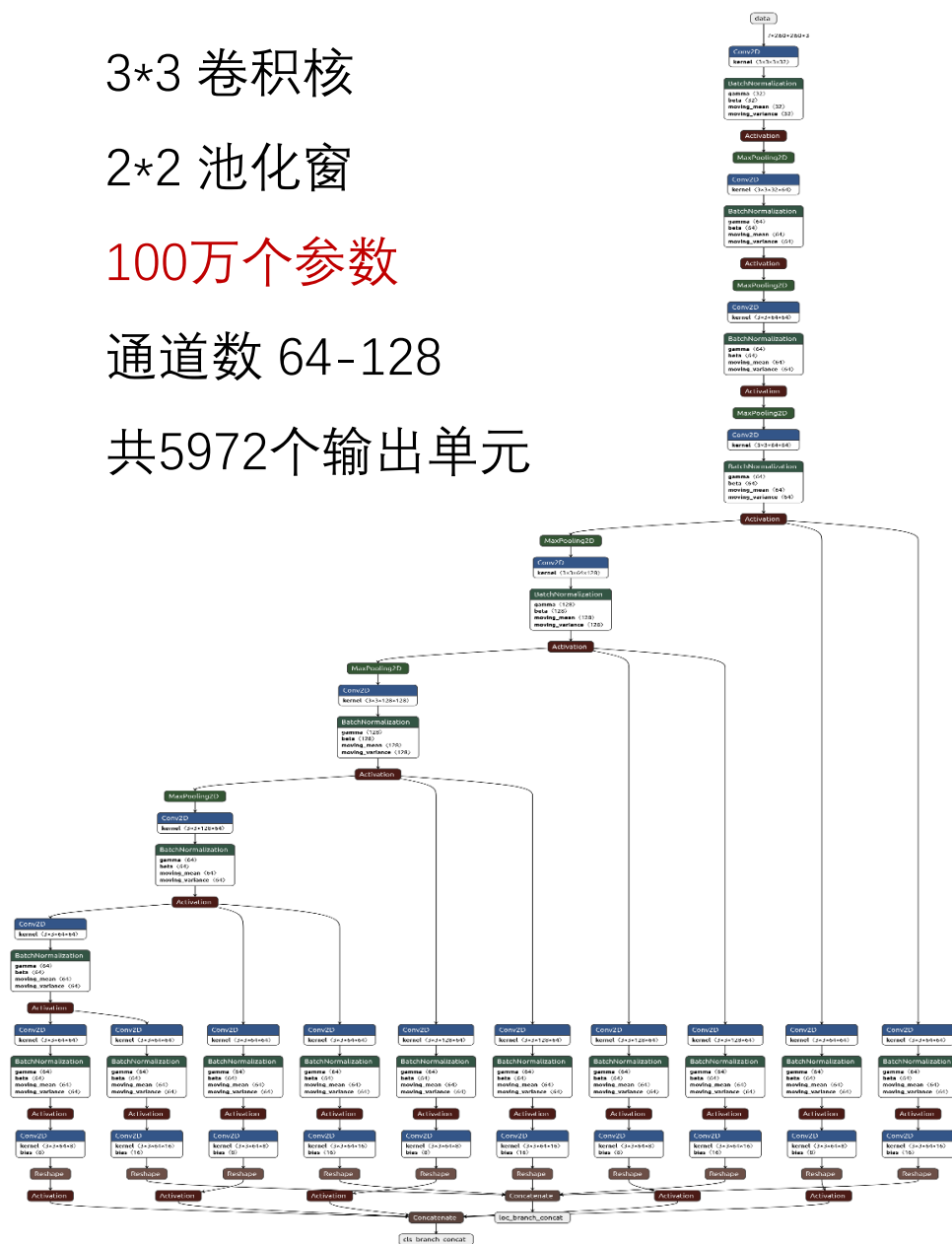
3*3 卷积核

2*2 池化窗

100万个参数

通道数 64-128

共5972个输出单元



◆ 包含BN层，结构复杂

◆ 包含Sigmoid激活层，实现难度大

◆ Pooling的位置具有随机性

◆ Padding的位置和方式具有随机性

◆ 网络具有多个分支，计算流程复杂



2*2 池化窗

100万个参数

通道数 64-128

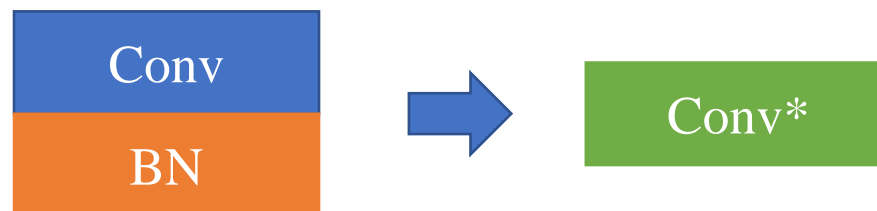
共5972个输出单元

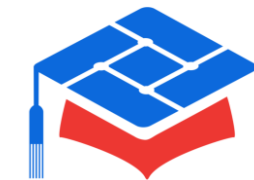


◆ 包含Sigmoid激活层，实现难度大

$$Y = \sum_j \sum_i A_{ij} \left(\frac{\gamma}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}} K_{ij} \right) + \left(-\frac{\gamma \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}} + \beta \right)$$

$$Y = \sum_j \sum_i A_{ij} K_{ij}^* + B^*$$





■ 方案介绍 | 模型简化

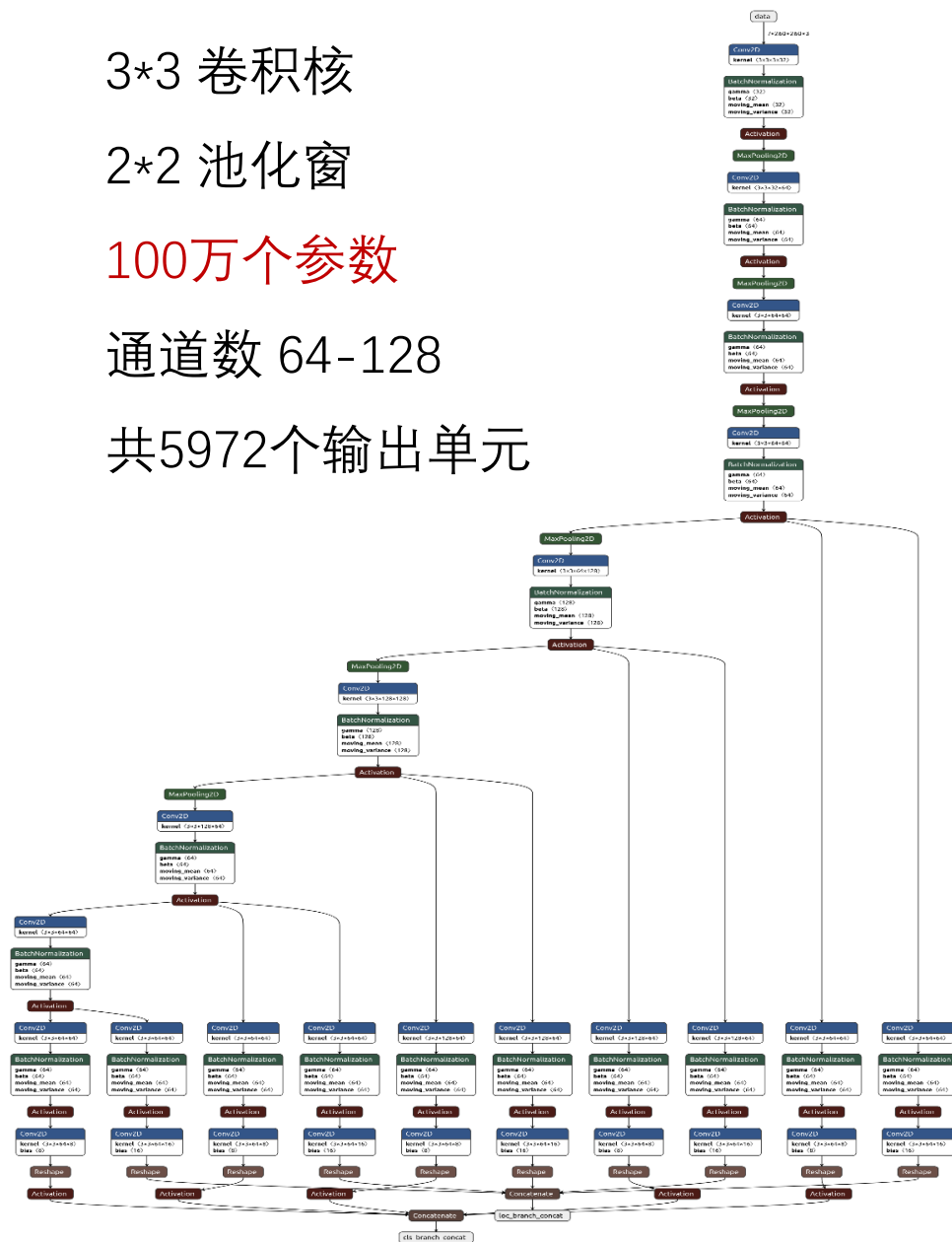
3*3 卷积核

2*2 池化窗

100万个参数

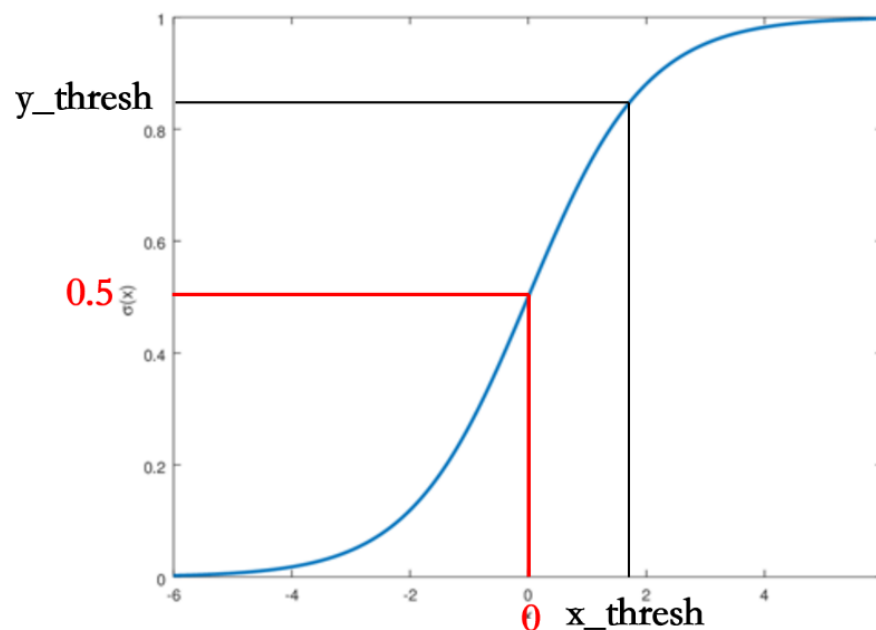
通道数 64-128

共5972个输出单元



◆ 包含BN层，结构复杂

◆ 包含Sigmoid激活层，实现难度大



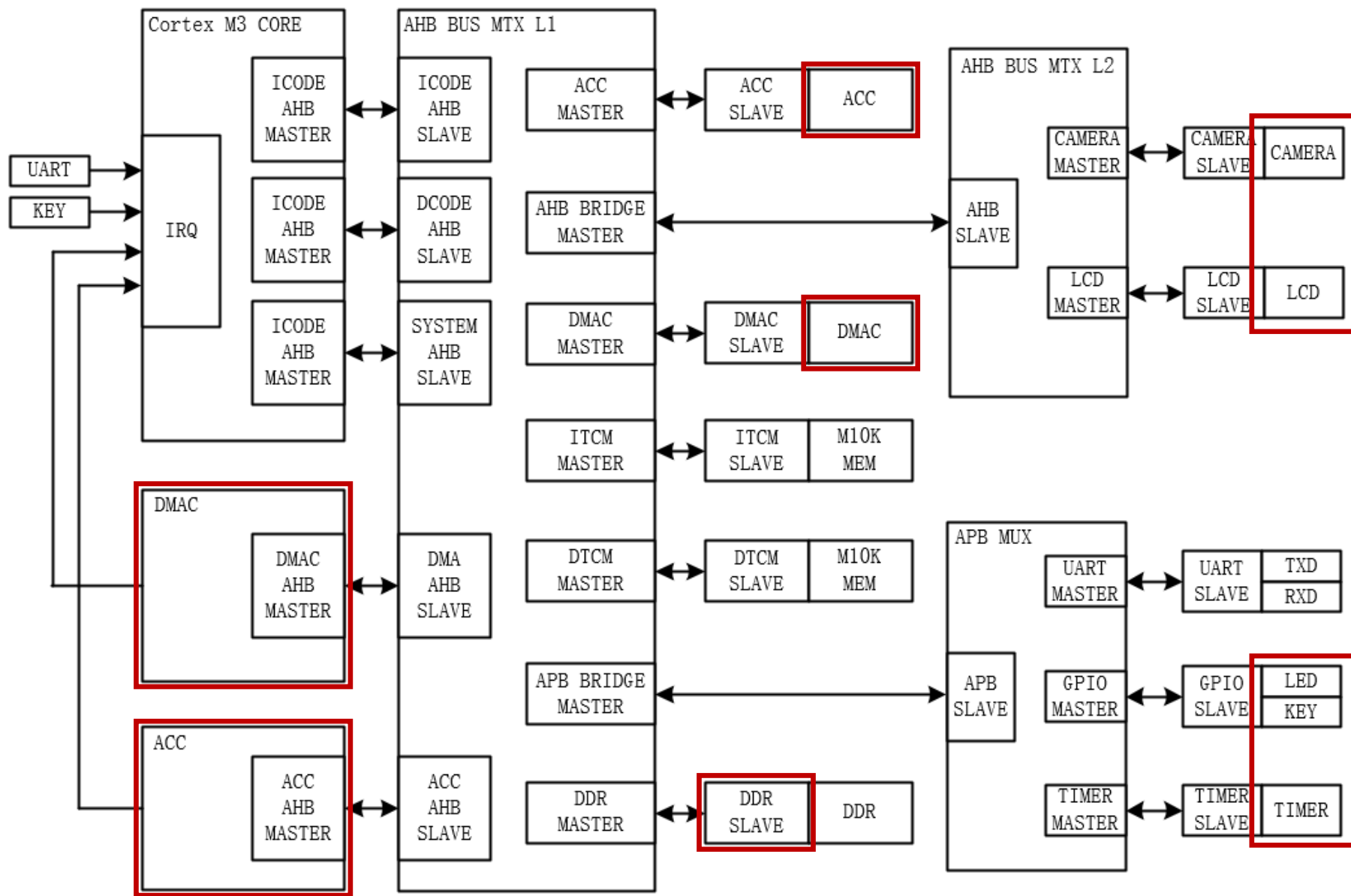
硬件算法



正负判断



■ 方案介绍 | SoC架构

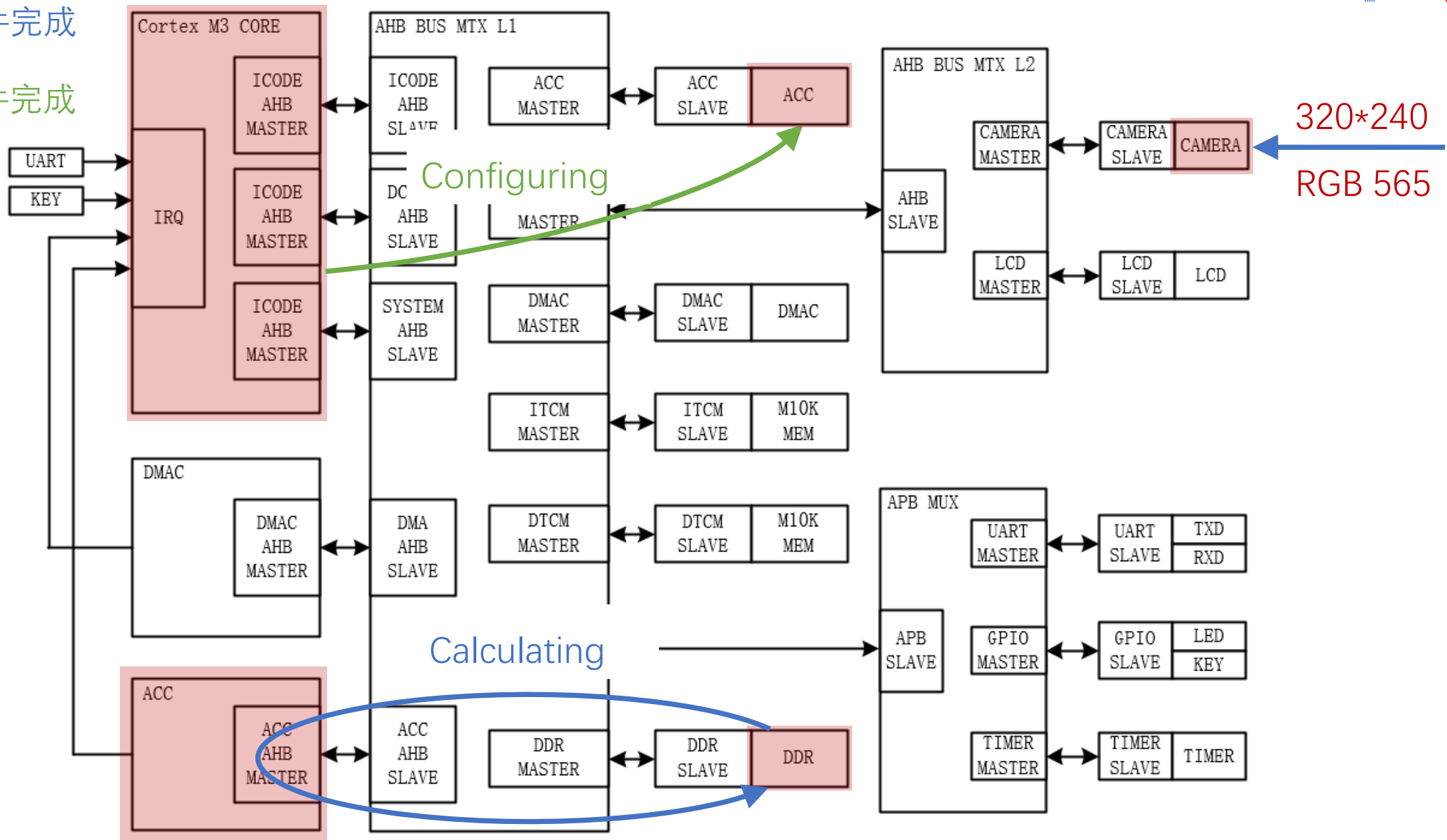




■ 方案介绍 | 数据流动过程

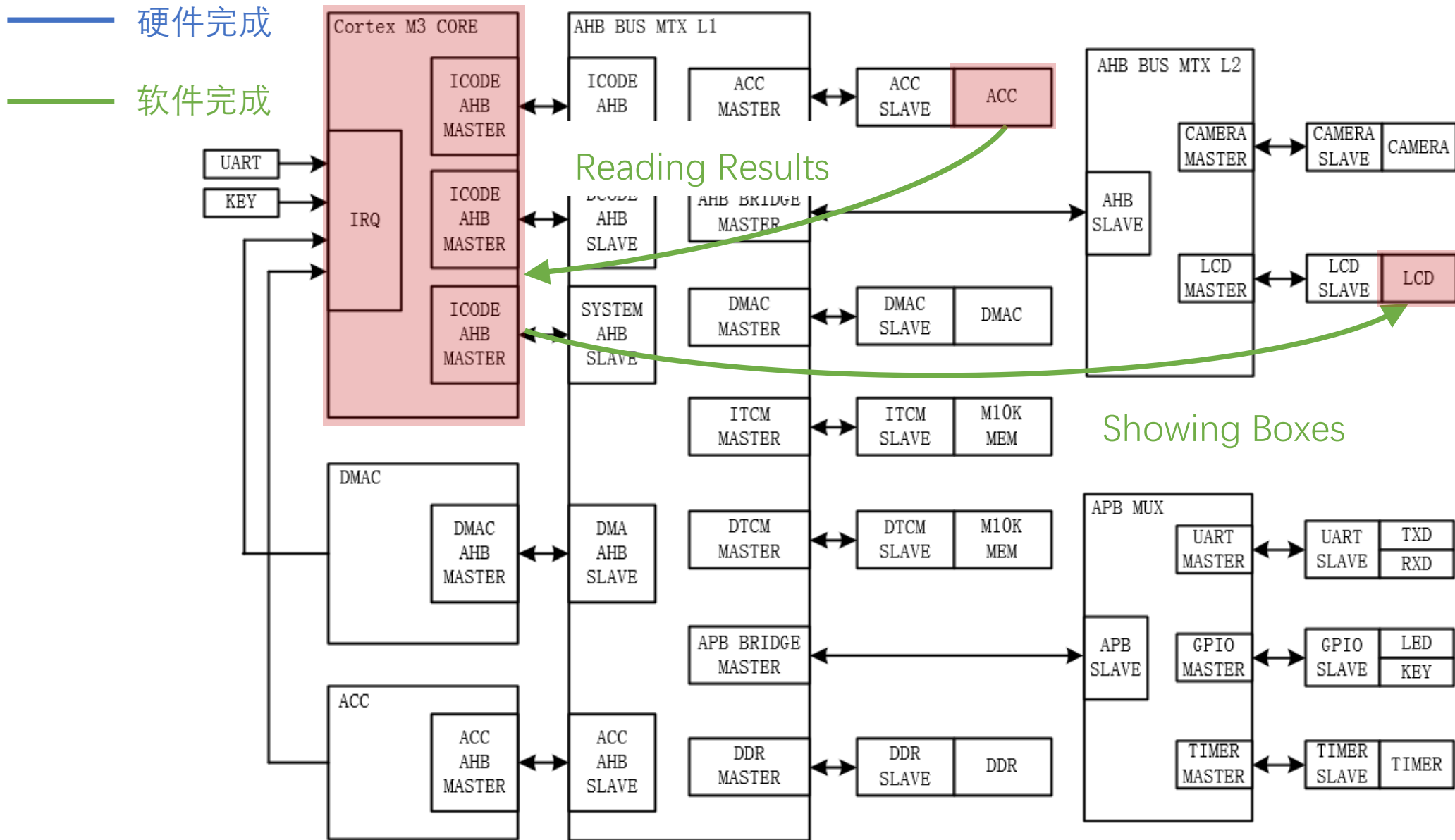
— 硬件完成

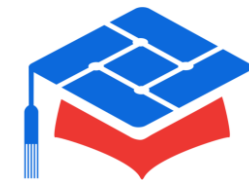
— 软件完成





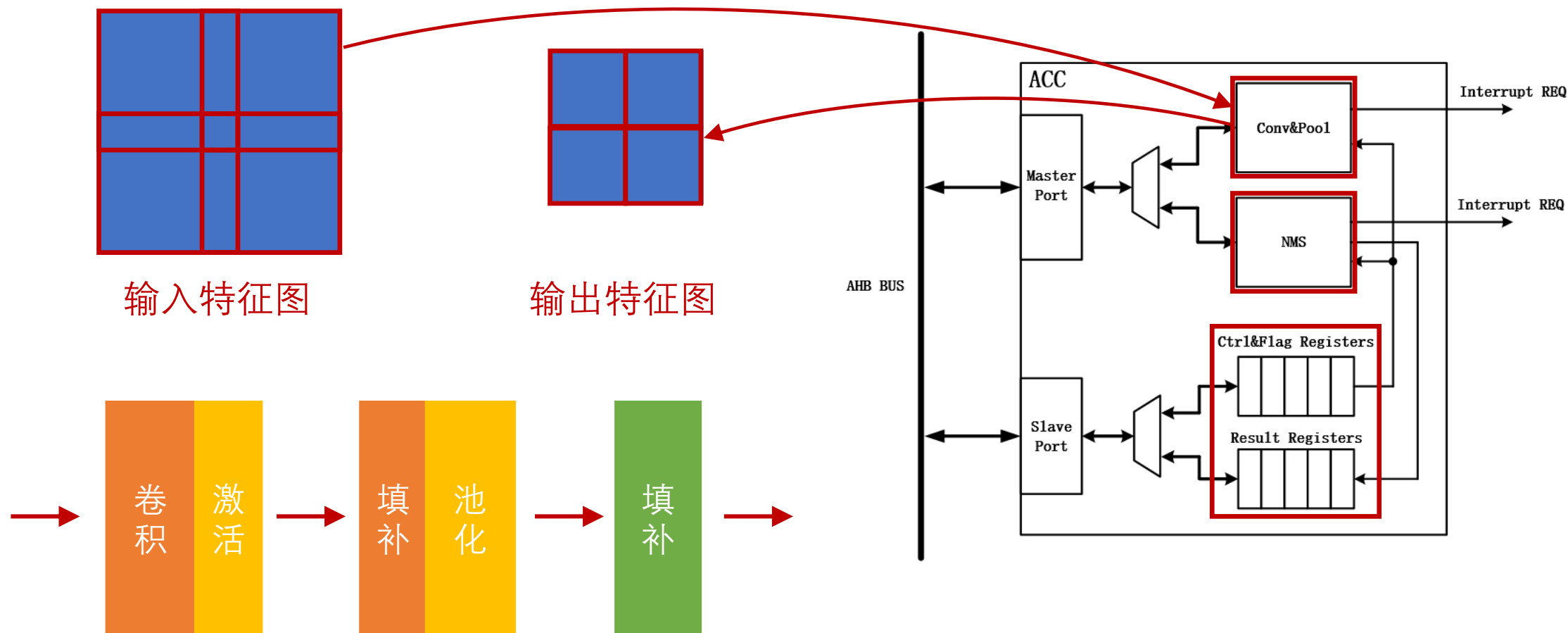
■ 方案介绍 | 数据流动过程





■ 硬件设计 | 加速器功能介绍

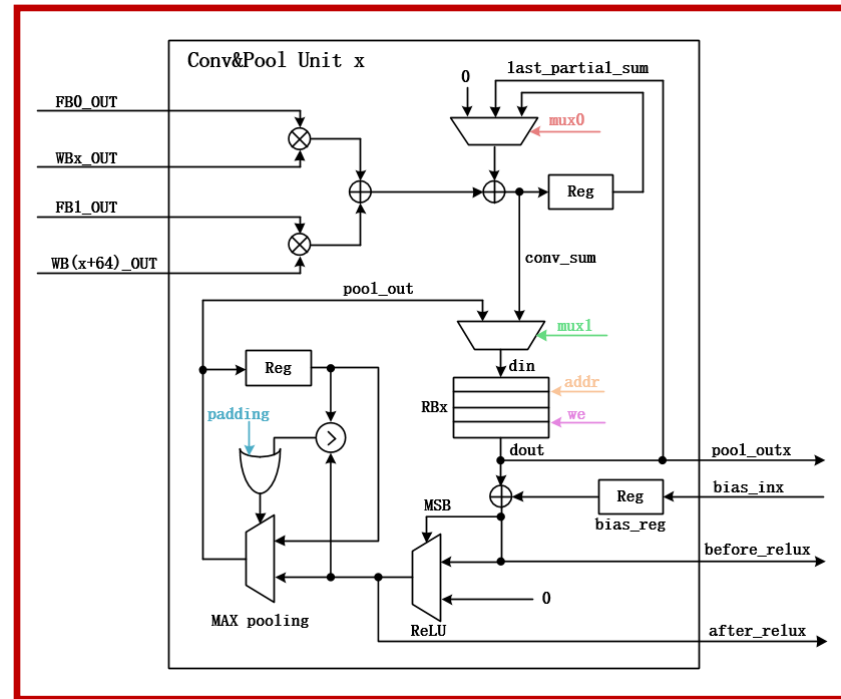
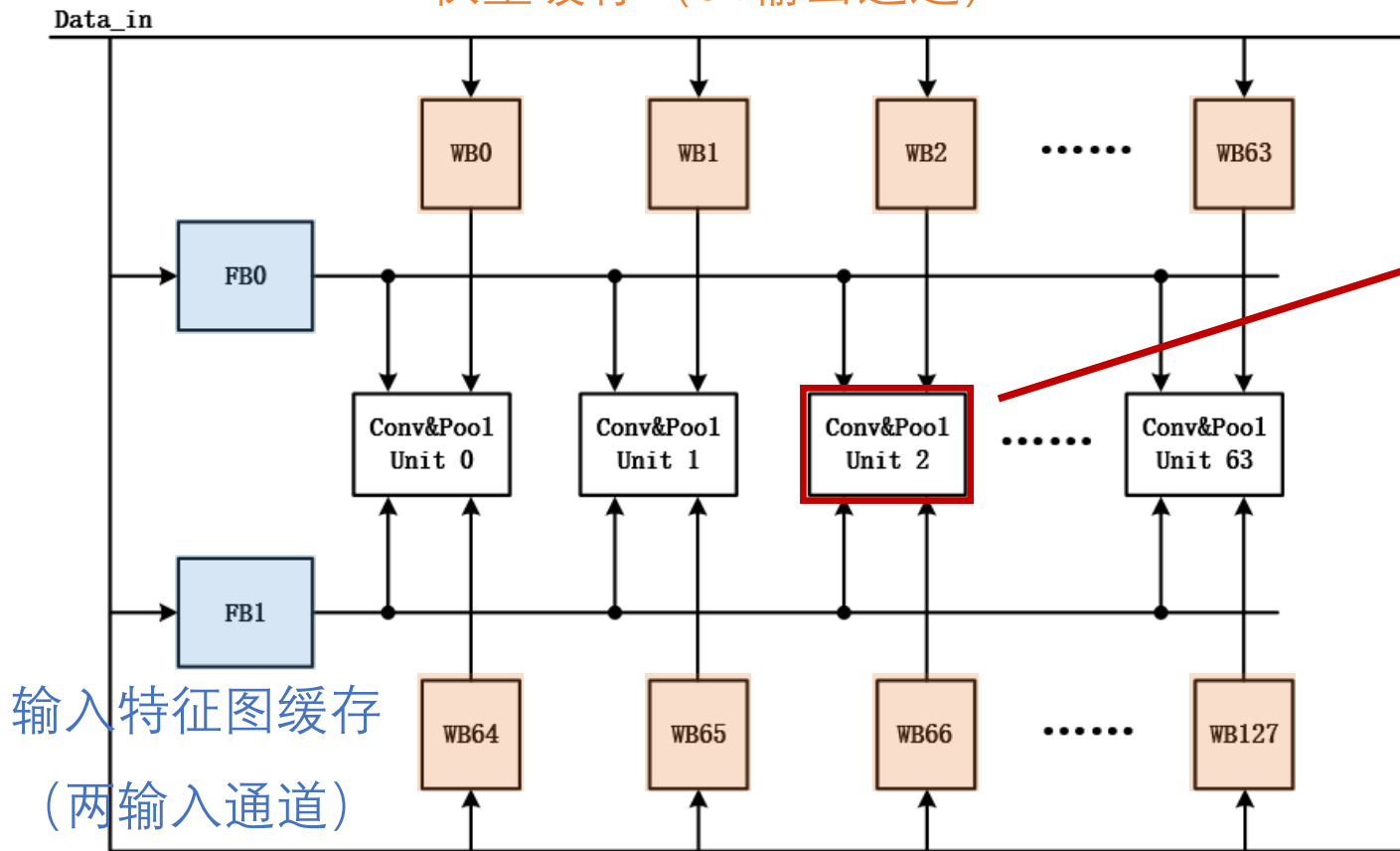
◆ Chen, Xiaoming, et al. "Communication Lower Bound in Convolution Accelerators." 2019.





■ 硬件设计 | 卷积池化加速器

权重缓存 (64输出通道)



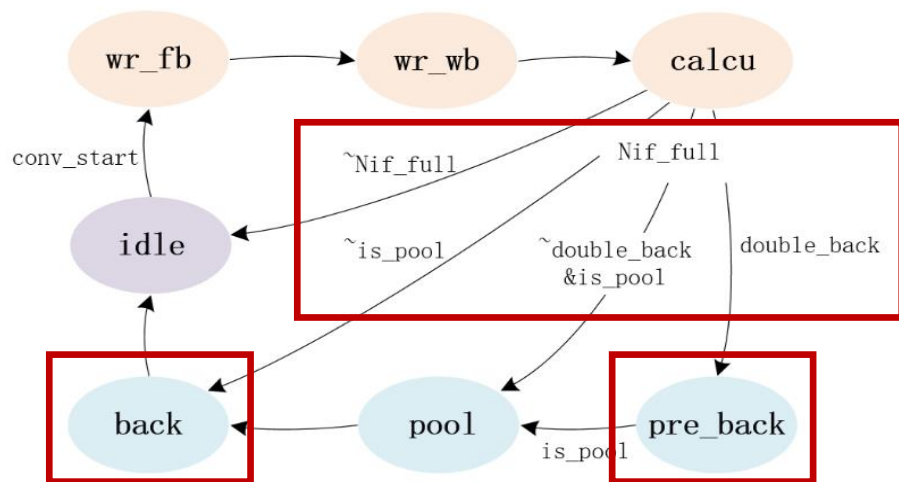
- ◆ RB (Result Buffer) 分时复用。卷积的结果存入RB，池化时取出，池化结果写回RB。



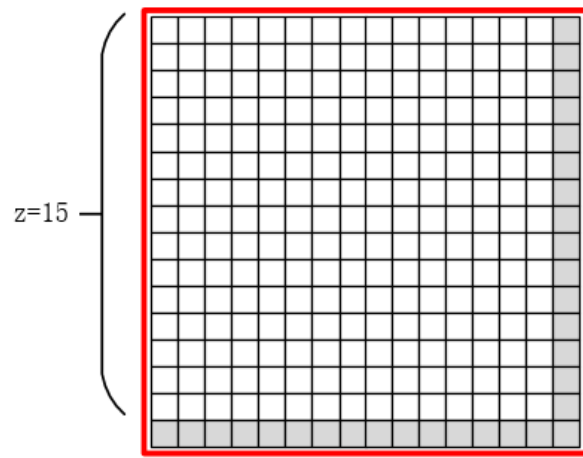
■ 硬件设计 | 计算灵活性

| | is_pool | k | n | is_out_pad | multi_win | bottom | double_back | delta_x | delta_nof | Nif | y | prey_y | x | FMBASEADDR | WBASEADDR | WBASEADDR | PWBASEADDR | BIASBASEADDR | GENERALCFG | SIDELENINFO |
|-----|---------|---|----|------------|-----------|--------|-------------|---------|-----------|-----|-----|--------|-----|------------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|-------------|
| L1 | 1 | 0 | 10 | 1 | 1 | 0 | 0 | 28 | 32 | 4 | 132 | 0 | 262 | 40770000 | 40030000 | 40994840 | 0 | 00000000 | 2AA38F83 | 00420106 |
| L2 | 1 | 0 | 5 | 1 | 3 | 0 | 0 | 28 | 64 | 32 | 67 | 0 | 132 | 40994840 | 40031200 | 4087C240 | 0 | 00000020 | 25E39F9F | 00218084 |
| L3 | 1 | 0 | 5 | 1 | 2 | 0 | 0 | 15 | 64 | 64 | 35 | 0 | 67 | 4087C240 | 40043200 | 40994840 | 0 | 00000060 | 25C1FFBF | 00118043 |
| L4 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 35 | 64 | 64 | 19 | 35 | 35 | 40994840 | 40067200 | 4087C240 | 40F70000 | 000000A0 | 218C7FBF | 0009C623 |
| L5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 35 | 64 | 64 | 35 | 0 | 35 | 40F70000 | 4008B200 | 40FBC900 | 0 | 000000E0 | 01847FBF | 00118023 |
| L6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 35 | 16 | 64 | 33 | 0 | 35 | 40FBC900 | 400AF200 | 4137BAA0 | 0 | 00000120 | 011467BF | 00108023 |
| L7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 35 | 64 | 64 | 35 | 0 | 35 | 40F70000 | 4008B200 | 40FBC900 | 0 | 00000130 | 01847FBF | 00118023 |
| L8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 35 | 8 | 64 | 33 | 0 | 35 | 40FBC900 | 400DC200 | 41370000 | 0 | 00000170 | 011463BF | 00108023 |
| L9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 19 | 64 | 64 | 11 | 19 | 19 | 4087C240 | 400E0A00 | 40994840 | 40F70000 | 00000178 | 318A7FBF | 0005A613 |
| L10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 19 | 64 | 128 | 19 | 0 | 19 | 40F70000 | 40128A00 | 40FBC900 | 0 | 000001F8 | 01827FFF | 00098013 |
| L11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 19 | 16 | 64 | 17 | 0 | 19 | 40FBC900 | 40170A00 | 4138CAE0 | 0 | 00000238 | 011267BF | 00088013 |
| L12 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 19 | 64 | 128 | 19 | 0 | 19 | 40F70000 | 40179A00 | 40FBC900 | 0 | 00000240 | 01827FFF | 00098013 |
| L13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 19 | 8 | 64 | 17 | 0 | 19 | 40FBC900 | 401C1A00 | 41378820 | 0 | 00000288 | 011263BF | 00088013 |
| L14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 11 | 64 | 128 | 7 | 11 | 11 | 40994840 | 401C6200 | 4087C240 | 40F70000 | 00000290 | 31897FFF | 00039608 |
| L15 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 11 | 64 | 128 | 11 | 0 | 11 | 40F70000 | 40256200 | 40FBC900 | 0 | 00000310 | 01817FFF | 00058008 |
| L16 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11 | 16 | 64 | 9 | 0 | 11 | 40FBC900 | 4029E200 | 41391320 | 0 | 00000350 | 011167BF | 00048008 |
| L17 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 11 | 64 | 128 | 11 | 0 | 11 | 40F70000 | 402A7200 | 40FBC900 | 0 | 00000360 | 01817FFF | 00058008 |
| L18 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11 | 8 | 64 | 9 | 0 | 11 | 40FBC900 | 402EF200 | 4137AC40 | 0 | 000003A0 | 011163FF | 00048008 |
| L19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 64 | 128 | 5 | 7 | 7 | 4087C240 | 402F3A00 | 40994840 | 40F70000 | 000003A8 | 0108FFFF | 00028E07 |
| L20 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 64 | 64 | 7 | 0 | 7 | 40F70000 | 40338A00 | 40FBC900 | 0 | 000003E8 | 0180FFBF | 00038007 |
| L21 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 16 | 64 | 5 | 0 | 7 | 40FBC900 | 4035FA00 | 41392760 | 0 | 00000428 | 0110E7BF | 00028007 |
| L22 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 64 | 64 | 7 | 0 | 7 | 40F70000 | 40368A00 | 40FBC900 | 0 | 00000438 | 0180FFBF | 00038007 |
| L23 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 8 | 64 | 5 | 0 | 7 | 40FBC900 | 4038CA00 | 4137B660 | 0 | 00000478 | 0110E3BF | 00028007 |
| L24 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 64 | 64 | 5 | 0 | 5 | 40994840 | 40391200 | 40F70000 | 0 | 00000480 | 0180BFBF | 00028005 |
| L25 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 64 | 64 | 5 | 0 | 5 | 40F70000 | 403B5200 | 40FBC900 | 0 | 000004C0 | 0180BFBF | 00028005 |
| L26 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 16 | 64 | 3 | 0 | 5 | 40FBC900 | 403D9200 | 41392DA0 | 0 | 00000500 | 0110A7BF | 00018005 |
| L27 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 64 | 64 | 5 | 0 | 5 | 40F70000 | 403E2200 | 40FBC900 | 0 | 00000510 | 0180BFBF | 00028005 |
| L28 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 8 | 64 | 3 | 0 | 5 | 40FBC900 | 40406200 | 4137B980 | 0 | 00000550 | 0110A7BF | 00018005 |

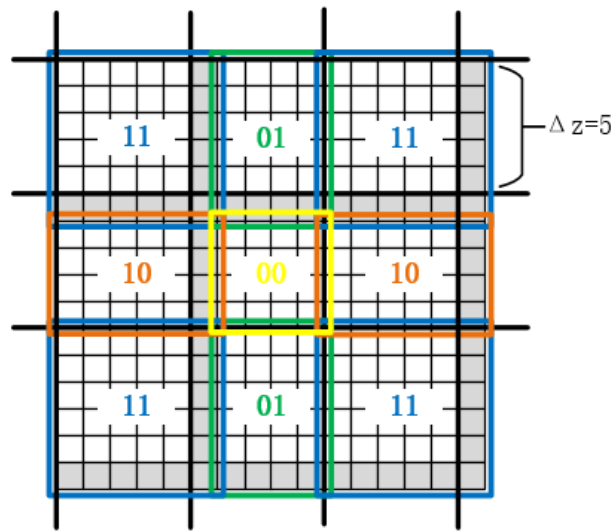
丰富的控制信息



灵活的状态机

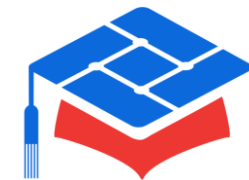


未划分缓存窗时的池化方式

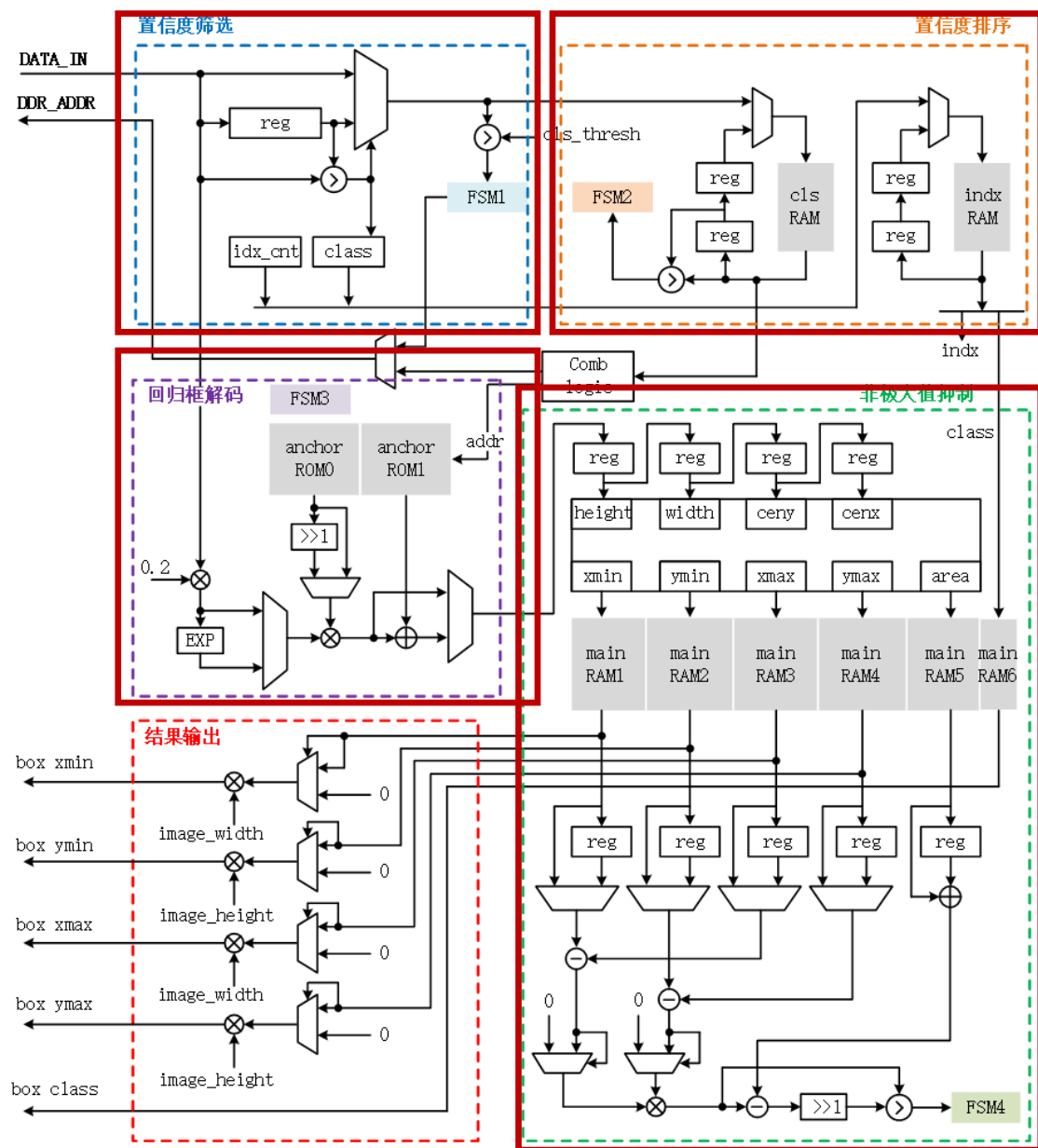


划分缓存窗时的池化方式 (n=3)

多种池化、padding方式



■ 硬件设计 | 后处理加速器

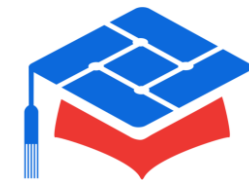


◆ 置信度比较与筛选

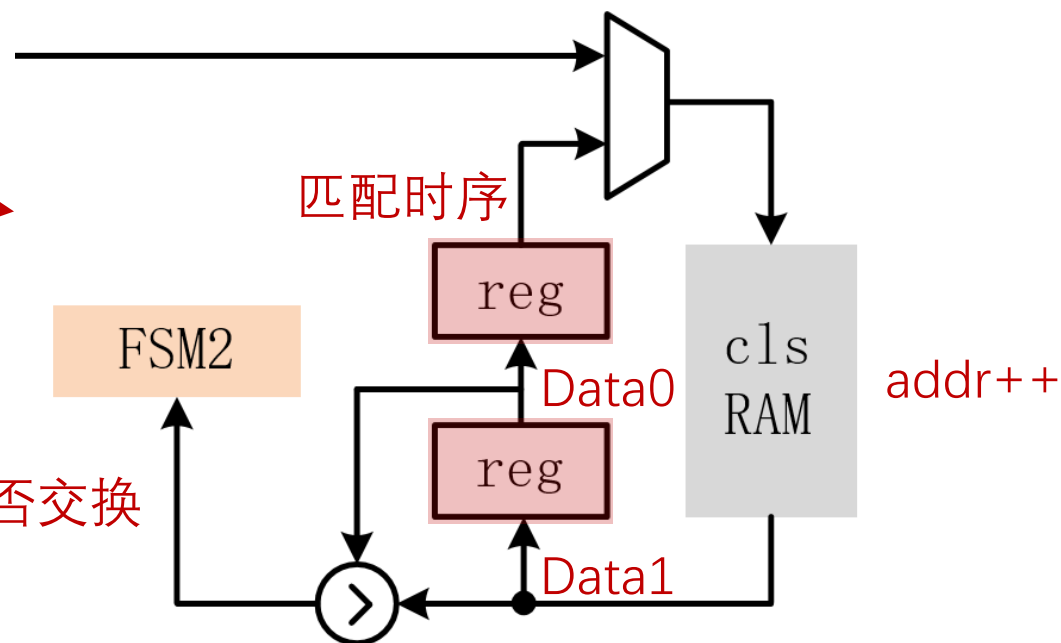
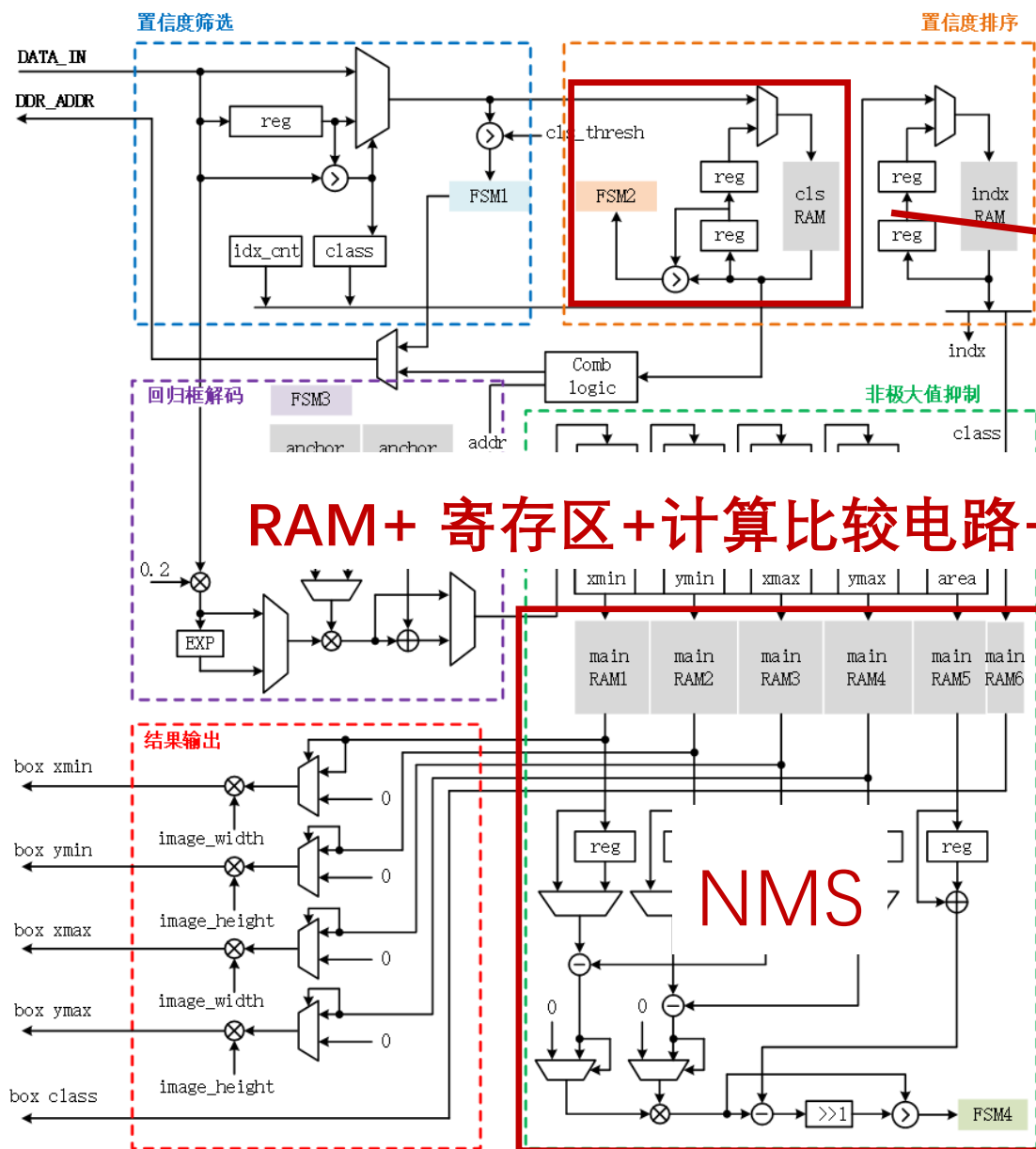
◆ 置信度冒泡排序

◆ 回归框解码

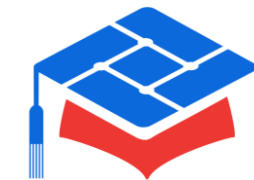
◆ 非极大值抑制 (NMS) 算法



■ 硬件设计 | 硬件冒泡排序



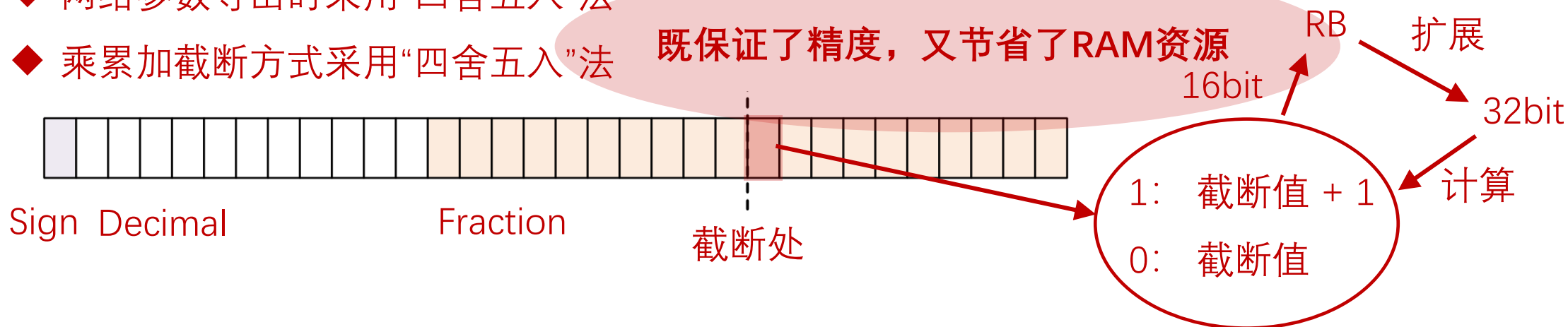
- ◆ 读数。从RAM中读出两个相邻数据。
- ◆ 比较。对两个数据作比较，根据比较结果决定是否需要交换两数据位置。
- ◆ 写回。如果需要交换，将两个数据交错写回原始位置。



■ 硬件设计 | 精度优化策略

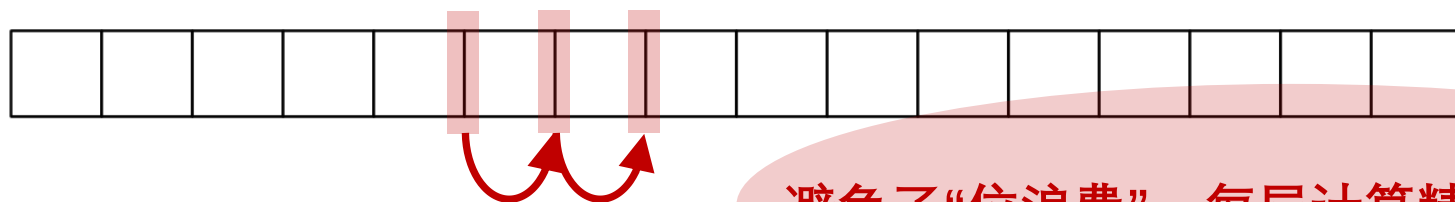
◆ 网络参数导出时采用“四舍五入”法

◆ 乘累加载断方式采用“四舍五入”法

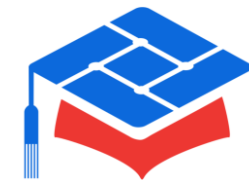


◆ 后处理运算时采用“定点数动点”方式

卷积：由于存在BN，每层结果分布大致相同；后处理：每步运算结果分布相差较大
统计每步运算结果分布情况，确定其要求的最低整数位数，从而尽可能增大计算精度



避免了“位浪费”，每层计算精度得到最大化

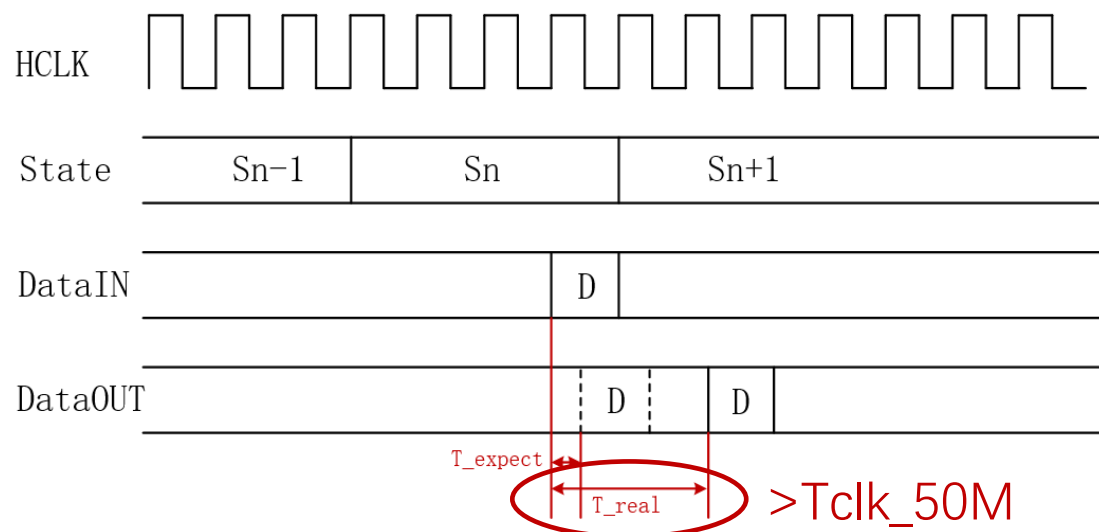


■ 硬件设计 | 频率优化策略



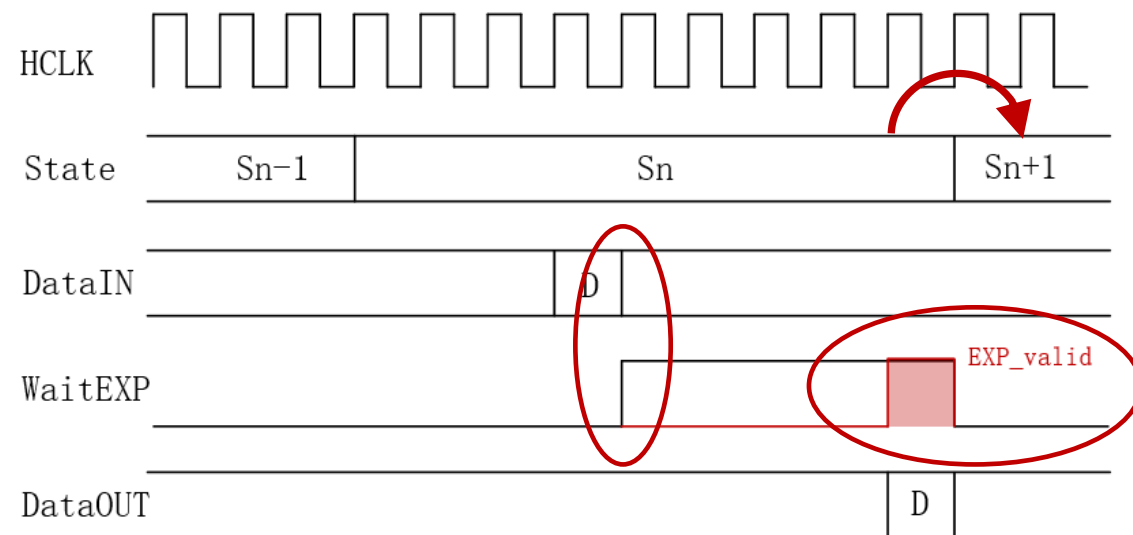
$$b^w = d^w e^{0.2l^w}$$
$$b^h = d^h e^{0.2l^h}$$

◆ Pipeline Stage = 0 (全并行)

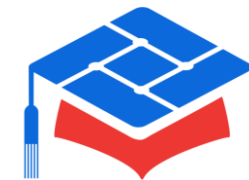


该IP核将系统时钟限制在10MHz

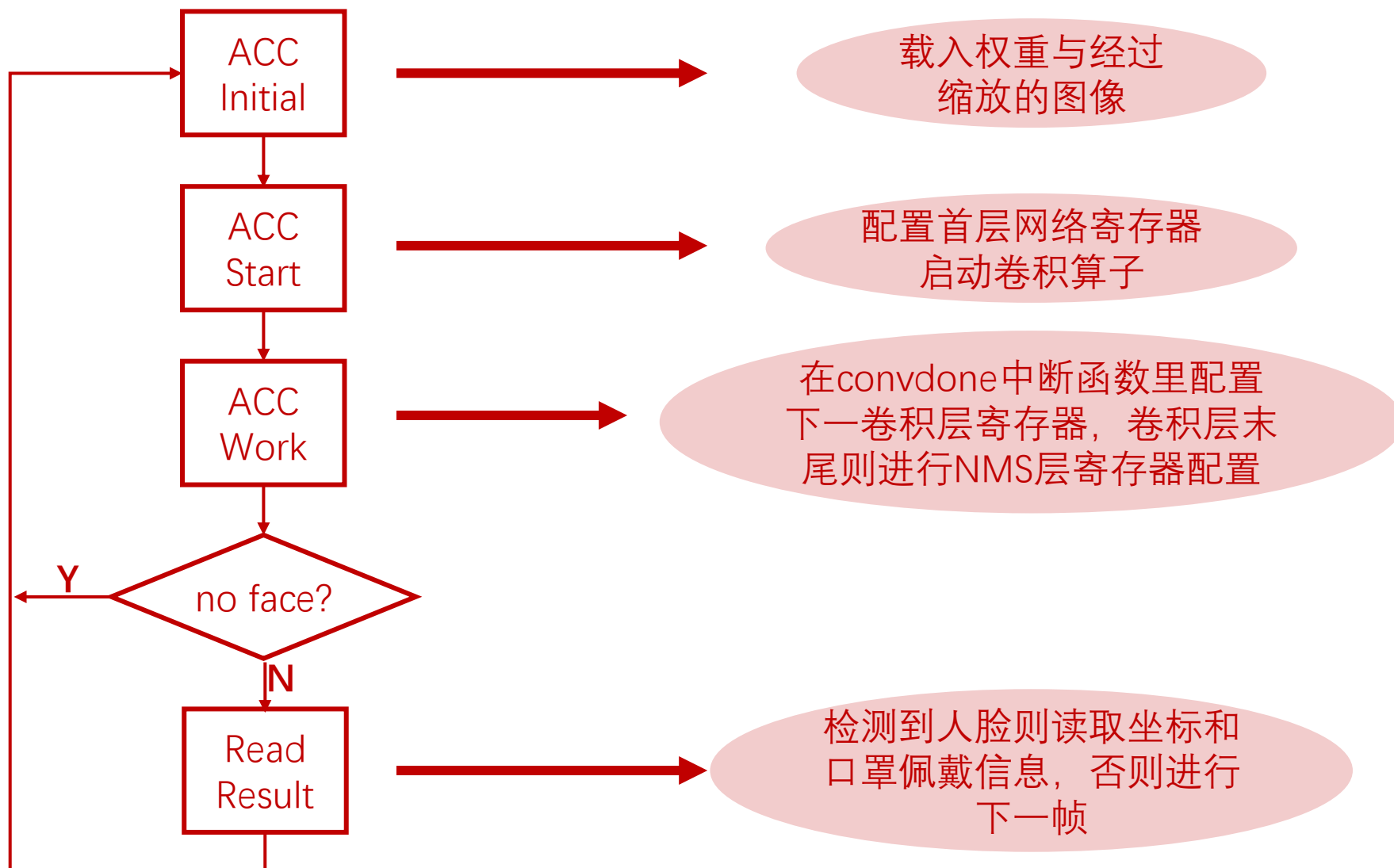
◆ Optimal Pipeline Stage

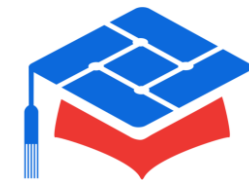


系统时钟频率提升至50MHz



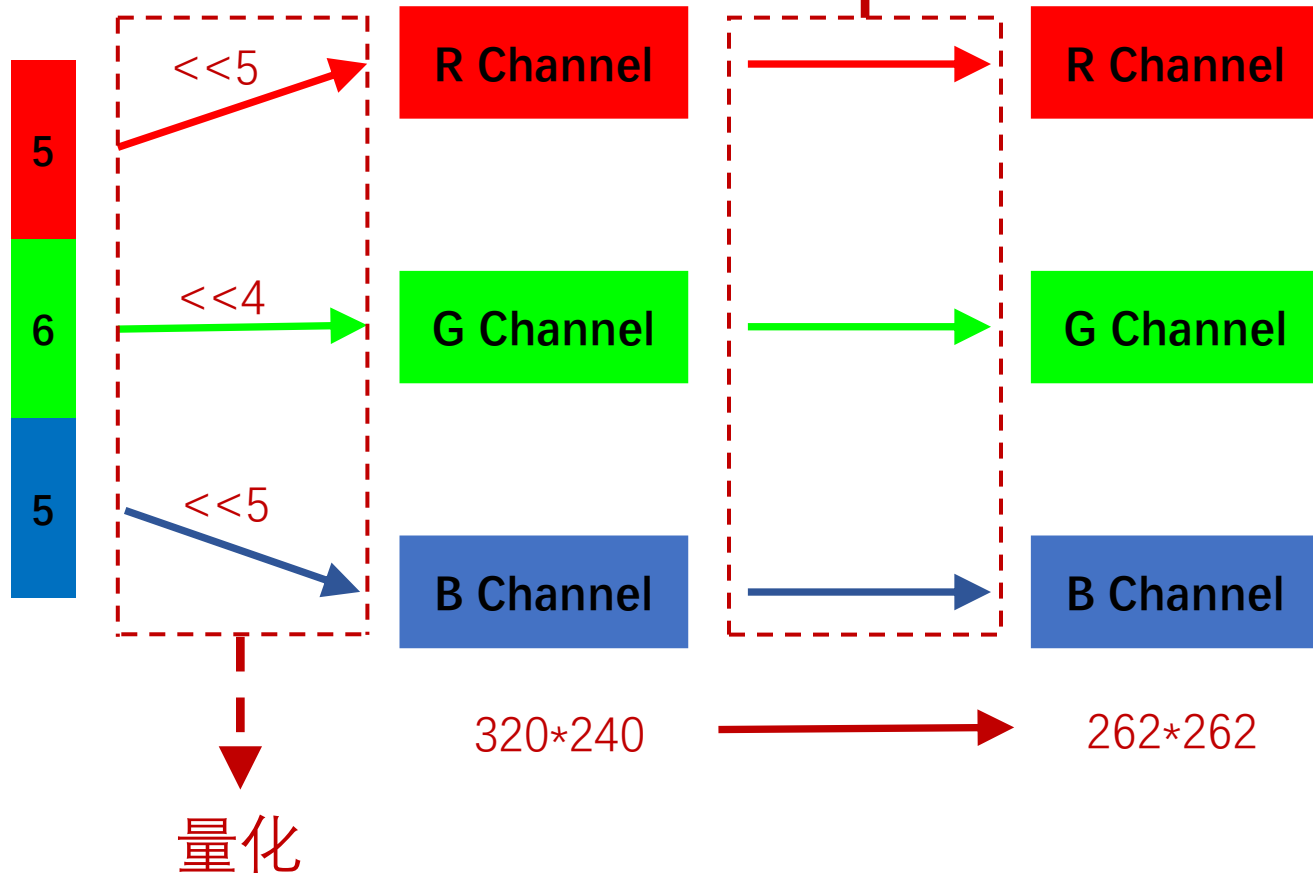
■ 软件设计 | ACC控制流程





■ 软件设计 | 图片缩放

Camera Data [15:0]



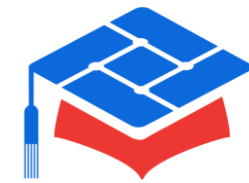
```
float srcRow,srcCol;
srcRow = ((dstRow/ScaleH) < (SrcHeight - 1)) ? (dstRow/ScaleH) : (SrcHeight - 1);
srcCol = ((dstCol/ScaleW) < (SrcWidth - 1)) ? (dstCol/ScaleW) : (SrcWidth - 1);

uint32_t intRow,intCol;
intRow = floor(srcRow);
intCol = floor(srcCol);

float u,v;
u = srcCol - intCol;
v = srcRow - intRow;

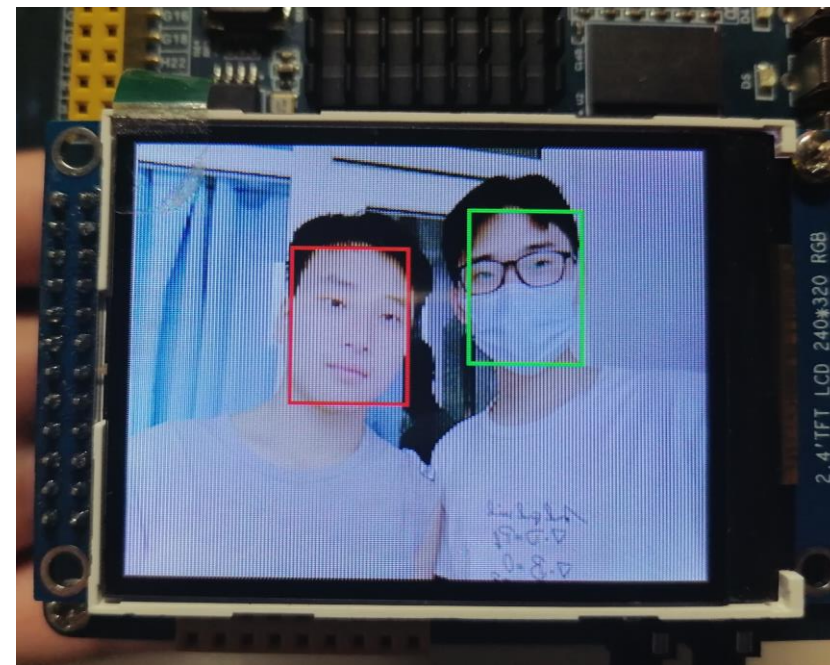
float u1,v1;
u1 = 1 - u;
v1 = 1 - v;

for (uint8_t i = 0; i < 3; i++)
{
    partV = v * ((u1 * rgb10Value.rgb[i]) + (u * rgb11Value.rgb[i]));
    partV1 = v1 * ((u1 * rgb00Value.rgb[i]) + (u * rgb01Value.rgb[i]));
    rgbDstValue.rgb[i] = partV + partV1 + 0.5;
}
```



■ 总结与展望 | 总结

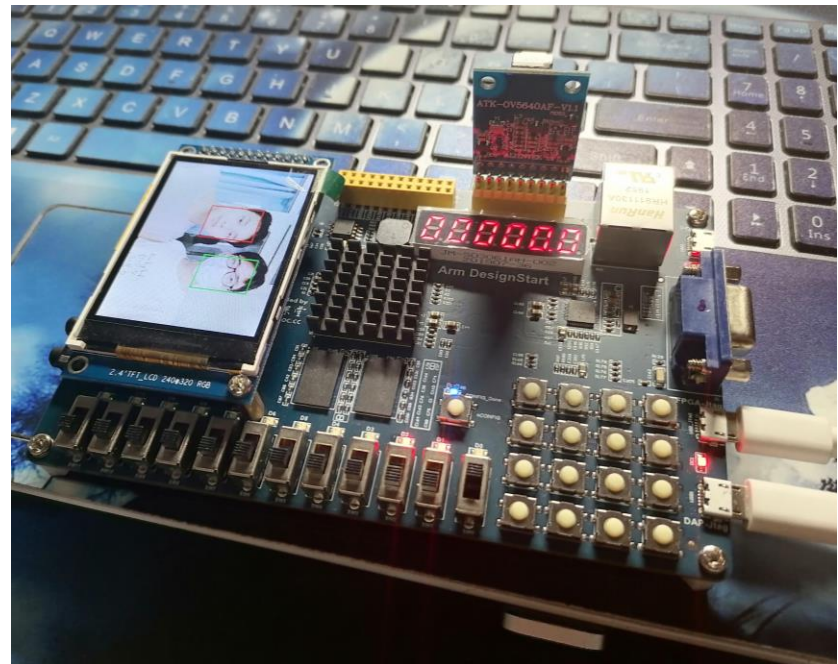
- ◆ 具有创新性和市场潜力的设计构思——口罩佩戴识别芯片。
- ◆ 确定智能算法，设计相应的硬件加速器，在加速器中创新性地使用了硬件冒泡排序和硬件NMS算法，并从计算精度和时钟频率两个角度对加速器的细节部分进行了优化。
- ◆ 自主编写了DMAC和外设接口，搭建SoC，编写软件库函数，并使用软件实现双线性插值缩放，使系统在硬件和软件上都取得了较好的完整性。
- ◆ 实现了单张图片的准确推理，结果相对误差在0.5%以内，ACC推理时间为，多次测试均无差错，说明系统具有较好的鲁棒性。

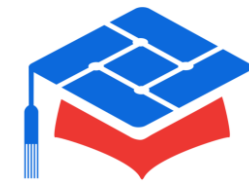




■ 总结与展望 | 展望

- ◆ ACC、DMAC访问DDR时使用NSEQ传输，HREADY的等待时间使系统耗时增大。可修改硬件、采用Burst传输。
- ◆ 软件缩放耗时很大，长达5s。可以考虑使用硬件实现或者与ACC并行执行的方式缩短耗时。
- ◆ ACC传输位宽为16bit，有待于扩展至32bit。
- ◆ 网络仍然具有大量0值参数，有待于进一步轻量化。





谢谢老师!