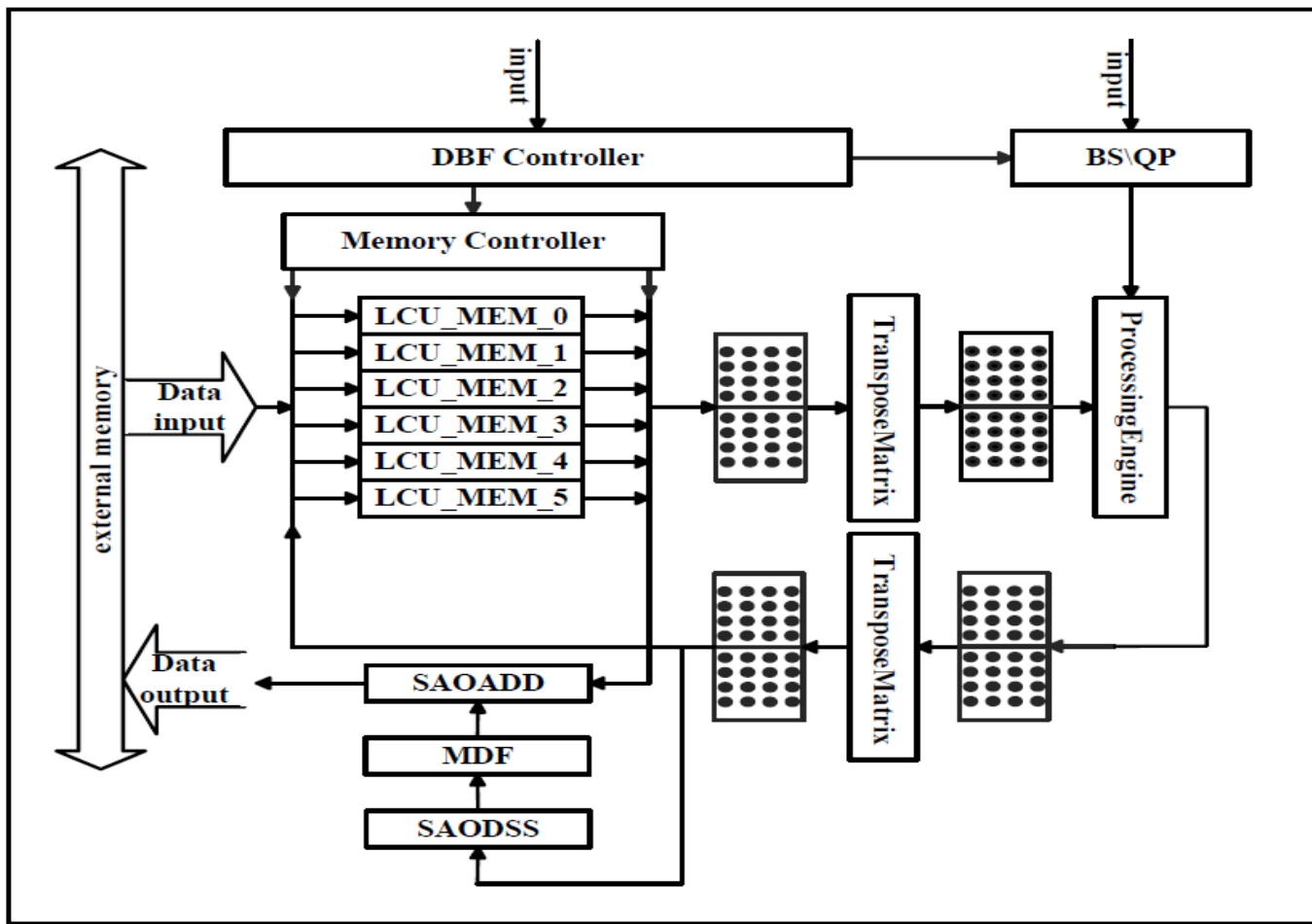


环路滤波与CABAC的 VLSI设计实现

作者：闫廷钰

日期：2017年1月13日

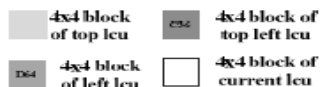
环路滤波 (In-Loop Filter) 整体架构



DBF controller 为顶层控制器，BS/QP 计算边界强度和量化参数；SAODSS 为数据统计模块，MDF 为模式判决和滤波。

逻辑映射

S0	V0	S1	V1	S2	V2	S3	V3	L0	R0	L1	R1	L2	R2	L3	R3
V4	S4	S5	S6	V6	S6	V7	S7	R4	L4	R5	L5	R6	L6	R7	L7
S8	V8	S9	V9	S10	V10	S11	V11	L8	R8	L9	R9	L10	R10	L11	R11
V15	S15	V13	S13	V14	S14	V14	S14	R12	L12	R13	L13	R14	L14	R15	L15
S16	V16	S17	V17	S18	V18	S19	V19	L16	R16	L17	R17	L18	R18	L19	R19
V20	S20	V21	S21	V22	S22	V23	S23	R16	L16	R17	L17	R18	L18	R19	L19
S24	V24	S25	V25	S26	V26	S27	V27	L24	R24	L25	R25	L26	R26	L27	R27
V28	S28	V29	S29	V30	S30	V31	S31	R28	L28	R29	L29	R30	L30	R31	L31
S32	V32	S33	V33	S34	V34	S35	V35	L32	R32	L33	R33	L34	R34	L35	R35
V36	S36	V37	S37	V38	S38	V39	S39	R36	L36	R37	L37	R38	L38	R39	L39
S40	V40	S41	V41	S42	V42	S43	V43	L40	R40	L41	R41	L42	R42	L43	R43
V44	S44	V45	S45	V46	S46	V47	S47	R44	L44	R45	L45	R46	L46	R47	L47
S48	V48	S49	V49	S50	V50	S51	V51	L48	R48	L49	R49	L50	R50	L51	R51
V52	S52	V53	S53	V54	S54	V55	S55	R52	L52	R53	L53	R54	L54	R55	L55
S56	V56	S57	V57	S58	V58	S59	V59	L56	R56	L57	R57	L58	R59	L59	R59
V60	S60	V61	S61	V62	S62	V63	S63	R60	L60	R61	L61	R62	L62	R63	L63
S64	V64	S65	V65	S66	V66	S67	V67	L64	R64	L65	R65	L66	R66	L67	R67



C0	D0	C1	D1	C2	D2	C3	D3
D4	C4	C5	C6	C7	C8	C9	
C8	D8	C9	D9	C10	D10	C11	D11
D12	C12	D13	C13	D14	C14	D15	C15
C16	D16	C17	D17	C18	D18	C19	D19
D20	C20	D21	C21	D22	C22	D23	C23
C24	D24	C25	D25	C26	D26	C27	D27
D28	C28	D29	C29	D30	C30	D31	C31
C32	D32	C33	D33	C34	D34	C35	D35

C36	D36	C37	D37	C38	D38	C39	D39
D40	C40	C41	C42	C43	C44	C45	C46
C44	D44	C45	D45	C46	D46	C47	D47
D48	C48	D49	C49	D50	C50	D51	C51
C52	D52	C53	D53	C54	D54	C55	D55
D56	C56	D57	C57	D58	C58	D59	C59
C60	D60	C61	D61	C62	D62	C63	D63
D64	C64	D65	C65	D66	C66	D67	C67
C68	D68	C69	D69	C70	D70	C71	D71

LLUMA

V0	V0	S1	V1	S2	V2	S3	V3	S4	V4
V4	S4	S5	S6	V6	S6	V7	S7		
S8	V8	S9	V9	S10	V10	S11	V11		
V12	S12	V13	S13	V14	S14	V15	S15		
V16	S16	V17	S17	V18	S18	V19	S19		
V20	S20	V21	S21	V22	S22	V23	S23		
S24	V24	S25	V25	S26	V26	S27	V27		
V28	S28	V29	S29	V30	S30	V31	S31		
S32	V32	S33	V33	S34	V34	S35	V35		
V36	S36	V37	S37	V38	S38	V39	S39		
S40	V40	S41	V41	S42	V42	S43	V43		
V44	S44	V45	S45	V46	S46	V47	S47		
S48	V48	S49	V49	S50	V50	S51	V51		
V52	S52	V53	S53	V54	S54	V55	S55		
S56	V56	S57	V57	S58	V58	S59	V59		
V60	S60	V61	S61	V62	S62	V63	S63		
S64	V64	S65	V65	S66	V66	S67	V67		

RLUMA

L0	R0	L1	R1	L2	R2	L3	R3
R4	L4	R5	L5	R6	L6	R7	L7
L8	R8	L9	R9	L10	R10	L11	R11
R12	L12	R13	L13	R14	L14	R15	L15
L16	R16	L17	R17	L18	R18	L19	R19
R20	L20	R21	L21	R22	L22	R23	L23
L24	R24	L25	R25	L26	R26	L27	R27
R28	L28	R29	L29	R30	L30	R31	L31
L32	R32	L33	R33	L34	R34	L35	R35
R36	L36	R37	L37	R38	L38	R39	L39
L40	R40	L41	R41	L42	R42	L43	R43
R44	L44	R45	L45	R46	L46	R47	L47
L48	R48	L49	R49	L50	R50	L51	R51
R52	L52	R53	L53	R54	L54	R55	L55
L56	R56	L57	R57	L58	R58	L59	R59
R60	L60	R61	L61	R62	L62	R63	L63
L64	R64	L65	R65	L66	R66	L67	R67

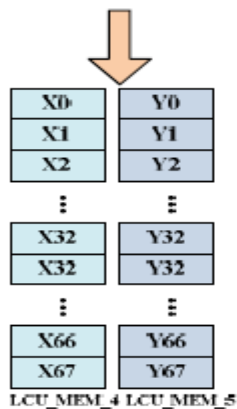
CCBC

D0	C0	D1	C1	D2	C2	D3	C3
C4	D4	C5	D5	C6	D6	C7	D7
D8	C8	D9	C9	D10	C10	D11	C11
C12	D12	C13	D13	C14	D14	C15	D15
D16	C16	D17	C17	D18	C18	D19	C19
C20	D20	C21	D21	C22	D22	C23	D23
D24	C24	D25	C25	D26	C26	D27	C27
C28	D28	C29	D29	C30	D30	C31	D31
D32	C32	D33	C33	D34	C34	D35	C35
C36	D36	C37	D37	C38	D38	C39	D39
D40	C40	D41	C41	D42	C42	D43	C43
C44	D44	C45	D45	C46	D46	C47	D47
D48	C48	D49	C49	D50	C50	D51	C51
C52	D52	C53	D53	C54	D54	C55	D55
D56	C56	D57	C57	D58	C58	D59	C59
C60	D60	C61	D61	C62	D62	C63	D63
D64	C64	D65	C65	D66	C66	D67	C67
C68	D68	C69	D69	C70	D70	C71	D71

物理映射

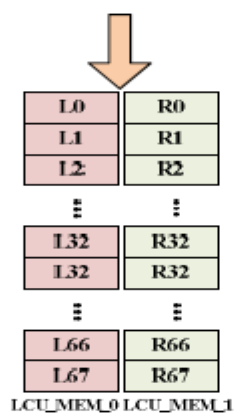
LLUMA

X0	X0	X1	X1	X2	X2	X3	X3
X4	X4	X5	X5	X6	X6	X7	X7
X8	X8	X9	X9	X10	X10	X11	X11
X12	X12	X13	X13	X14	X14	X15	X15
X16	X16	X17	X17	X18	X18	X19	X19
X20	X20	X21	X21	X22	X22	X23	X23
X24	X24	X25	X25	X26	X26	X27	X27
X28	X28	X29	X29	X30	X30	X31	X31
X32	X32	X33	X33	X34	X34	X35	X35
X36	X36	X37	X37	X38	X38	X39	X39
X40	X40	X41	X41	X42	X42	X43	X43
X44	X44	X45	X45	X46	X46	X47	X47
X48	X48	X49	X49	X50	X50	X51	X51
X52	X52	X53	X53	X54	X54	X55	X55
X56	X56	X57	X57	X58	X58	X59	X59
X60	X60	X61	X61	X62	X62	X63	X63
X64	X64	X65	X65	X66	X66	X67	X67



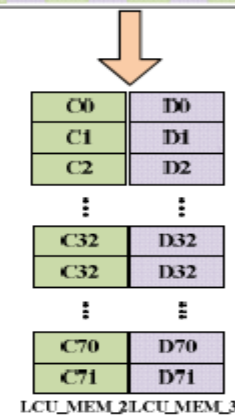
RLUMA

L0	R0	L1	R1	L2	R2	L3	R3
R4	L4	R5	L5	R6	L6	R7	L7
R8	R8	L9	R9	L10	R10	L11	R11
R12	R12	R13	L13	R14	L14	R15	L15
L16	R16	L17	R17	L18	R18	L19	R19
R20	L20	R21	L21	R22	L22	R23	L23
L24	R24	L25	R25	L26	R26	L27	R27
R28	L28	R29	L29	R30	L30	R31	L31
L32	R32	L33	R33	L34	R34	L35	R35
R36	L36	R37	L37	R38	L38	R39	L39
L40	R40	L41	R41	L42	R42	L43	R43
R44	L44	R45	L45	R46	L46	R47	L47
L48	R48	L49	R49	L50	R50	L51	R51
R52	L52	R53	L53	R54	L54	R55	L55
L56	R56	L57	R57	L58	R58	L59	R59
R60	L60	R61	L61	R62	L62	R63	L63
L64	R64	L65	R65	L66	R66	L67	R67

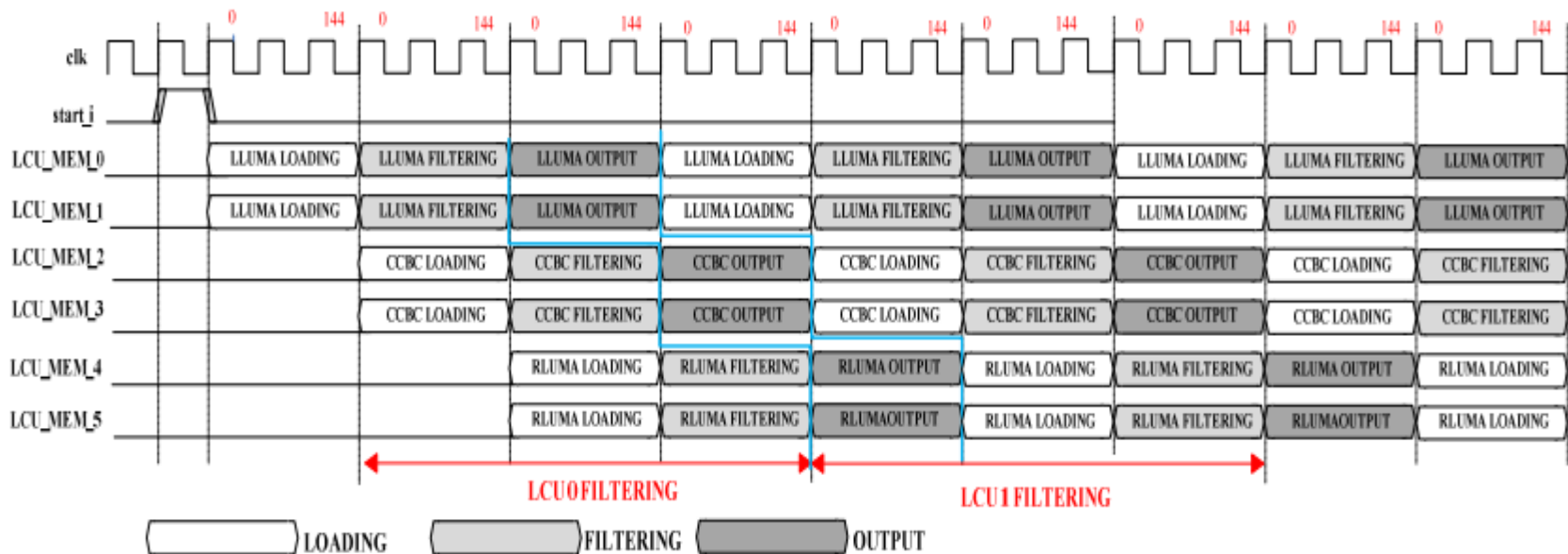


CCBC

D0	C0	D1	C1	D2	C2	D3	C3
C4	D4	C5	D5	C6	D6	C7	D7
D8	C8	D9	C9	D10	C10	D11	C11
C12	D12	C13	D13	C14	D14	C15	D15
D16	C16	D17	C17	D18	C18	D19	C19
C20	D20	C21	D21	C22	D22	C23	D23
D24	C24	D25	C25	D26	C26	D27	C27
C28	D28	C29	D29	C30	D30	C31	D31
D32	C32	D33	C33	D34	C34	D35	C35
C36	D36	C37	D37	C38	D38	C39	D39
D40	C40	D41	C41	D42	C42	D43	C43
C44	D44	C45	D45	C46	D46	C47	D47
D48	C48	D49	C49	D50	C50	D51	C51
C52	D52	C53	D53	C54	D54	C55	D55
D56	C56	D57	C57	D58	C58	D59	C59
C60	D60	C61	D61	C62	D62	C63	D63
D64	C64	D65	C65	D66	C66	D67	C67
C68	D68	C69	D69	C70	D70	C71	D71

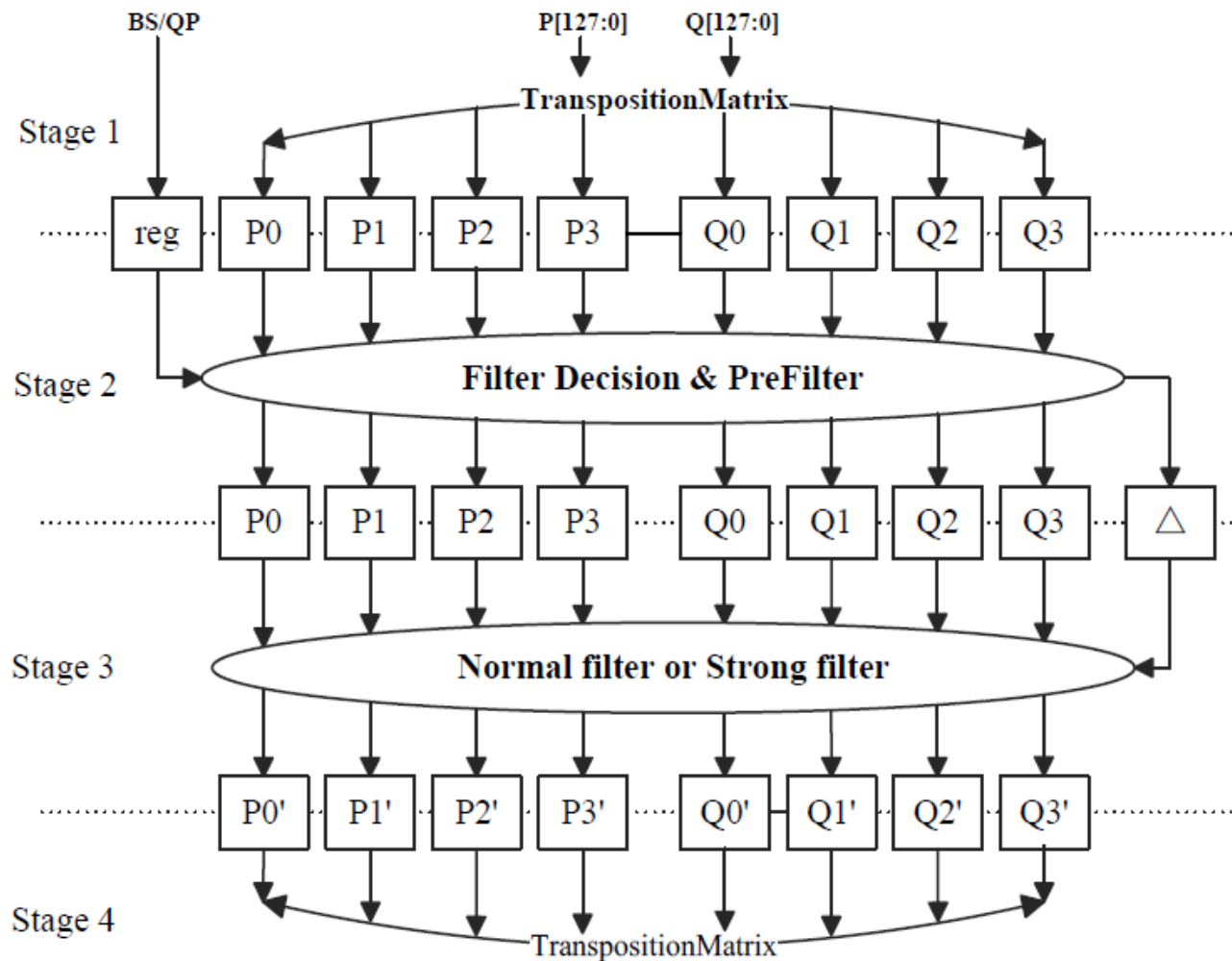


LCU流水线设计

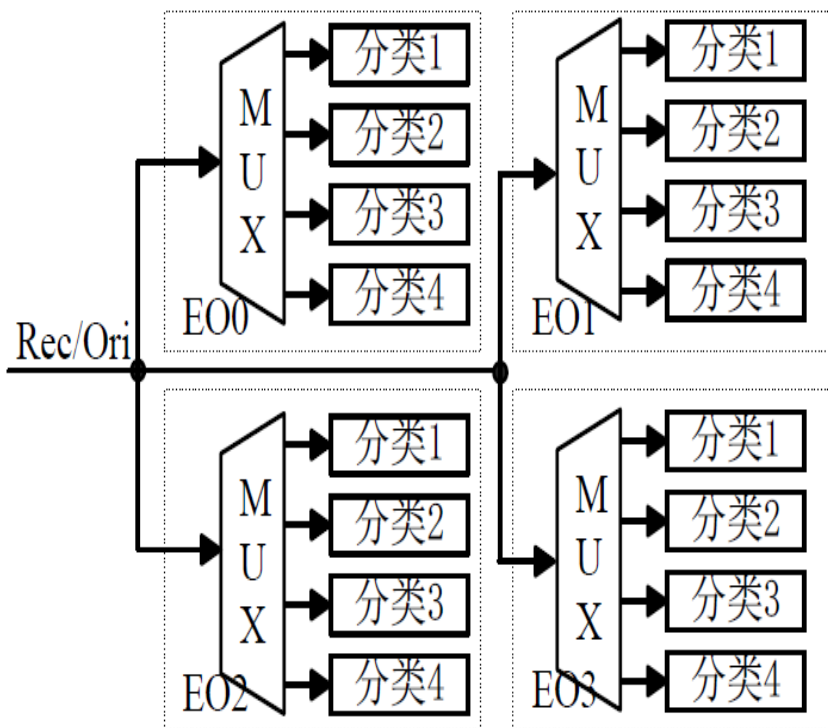


- Loading : 将 4×4 块从外部存储器输入到片上存储器保存 ;
- Filtering : 数据导入完毕后开始滤波, 先垂直滤波, 再水平滤波 ; 滤波后将数据写回存储器, 同时发送给SAODSS进行数据统计 ;
- Output : 将数据写回外部存储器, 写回前各像素加上SA0的偏置值。

Deblocking四级流水线

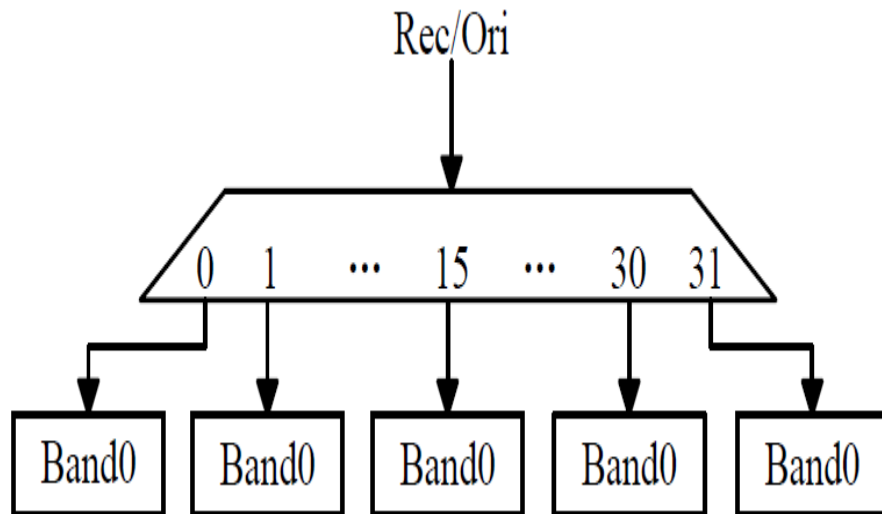


SAO数据统计模块



EO模式

(Rec为当前像素，Ori为原始像素)



BO模式

DB Test Bench Interface

mb_x[7:0] : x坐标LCU mb_y[7:0] : y坐标LCU

mb_partition[20:0] : CU划分模式

mb_p_pu_mode[41:0] : PU划分模式

mb_partition_i[0] : 64x64是否划分,1:划分 0:不划分

mb_partition_i[1] : 第一个32x32块是否划分,1:划分 0:不划分

mb_partition_i[2] : 第二个32x32块是否划分,1:划分 0:不划分

mb_p_pu_mode_i[1:0] : 与mb_partition_i[0]配合使用,64x64块的pu划分

mb_p_pu_mode_i[3:2] : 与mb_partition_i[1]配合, 第一个32x32块的pu划分

mb_p_pu_mode_i[5:4] : 与mb_partition_i[2]配合, 第二个32x32块的pu划分

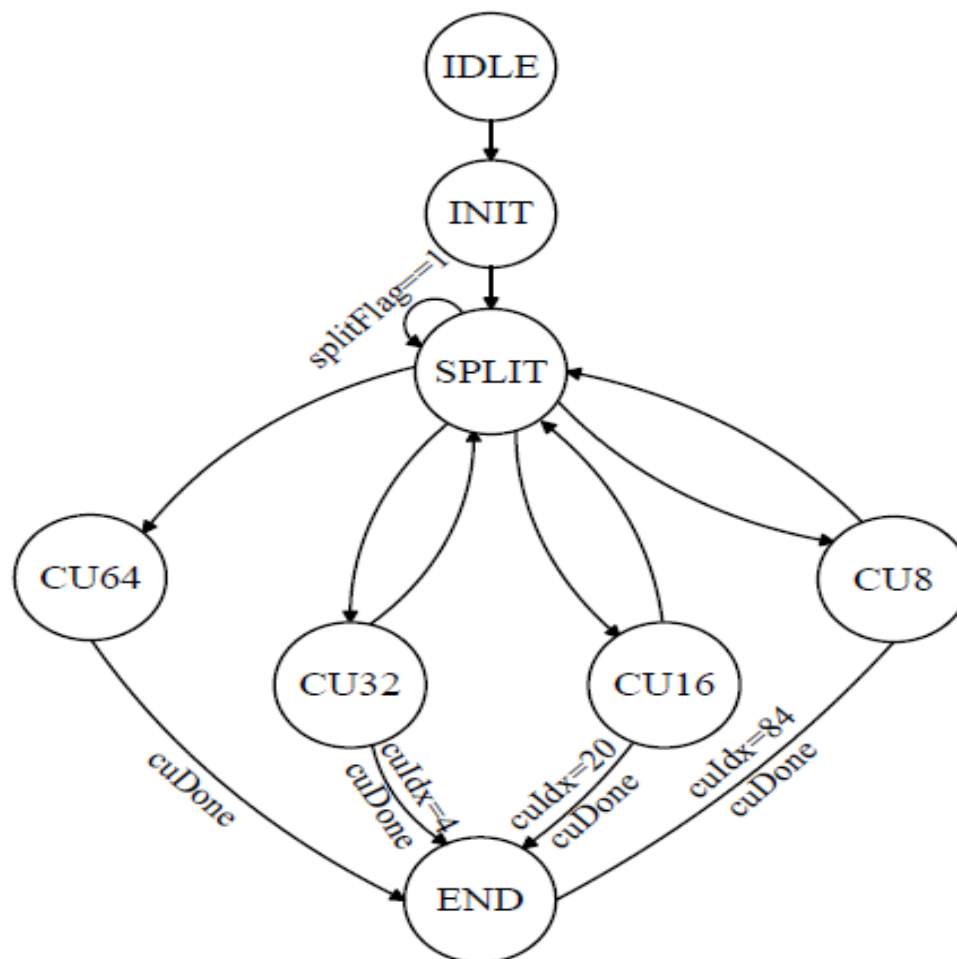
mb_cbf_u_i[255:0] 和mb_cbf_v_i[255:0] : 同mb_cbf_i [255:0]

mb_db_data_i :按照zig-zag扫描顺序每个4x4块的像素值

mb_db_data_o [127:0]:按照zig-zag扫描顺序每个4x4块的像素值

mb_mv_rdata_i [127:0]:按照zig-zag扫描顺序每个8x8块的mv信息

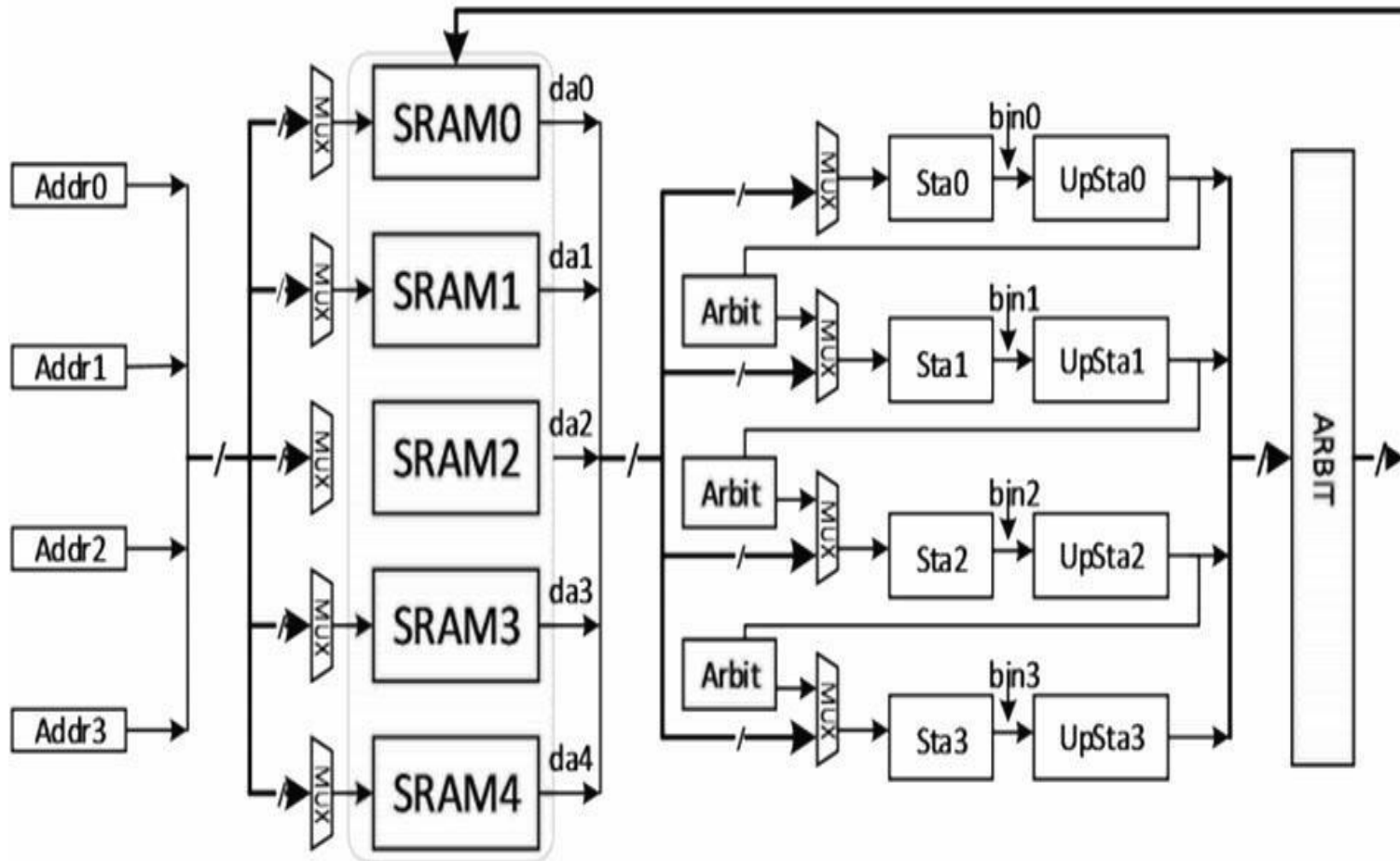
CABAC顶层控制模块



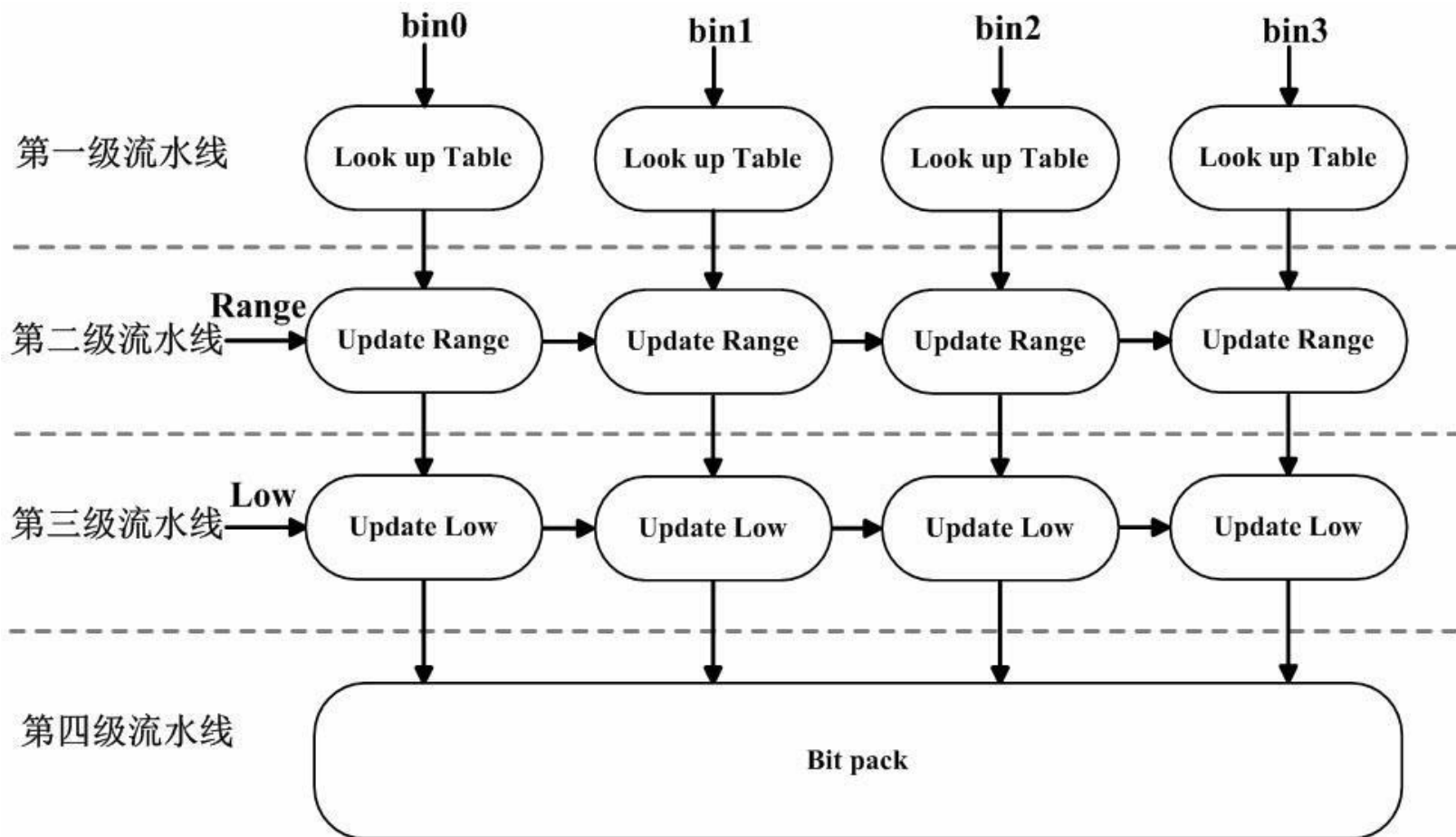
二值化

	BinPair[10:9]	BinPair[8]	BinPair[7:5]	BinPair[4:0]
正常模式	00	Bin	SramIdx	SramAddr
旁路模式	10	1'b1	BinNum	Bins
终端模式	11	Bin	3'b1/3'b0	5'b00000
无效模式	01	1'b1	3'b111	5'b11111

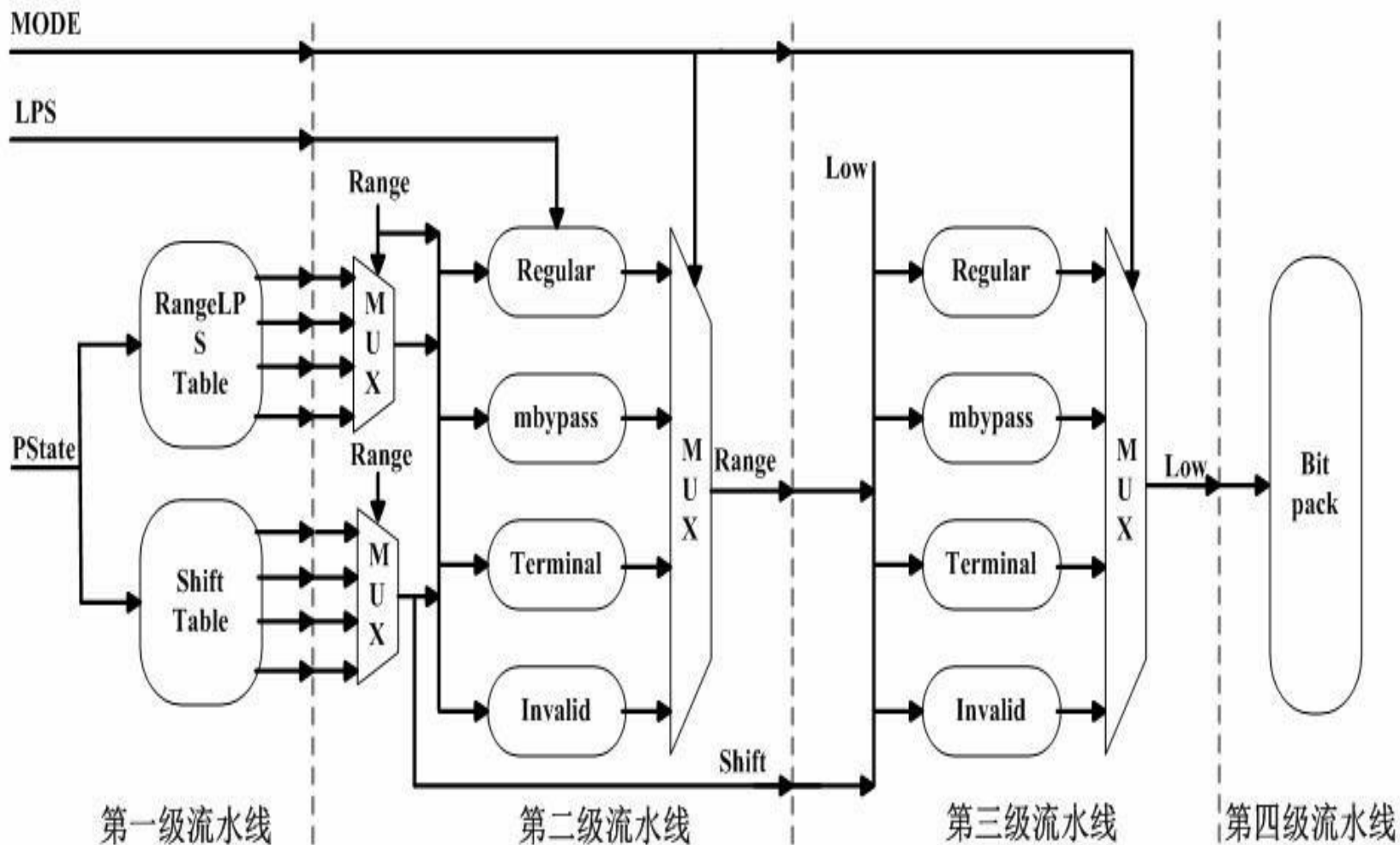
上下文建模 (CM)



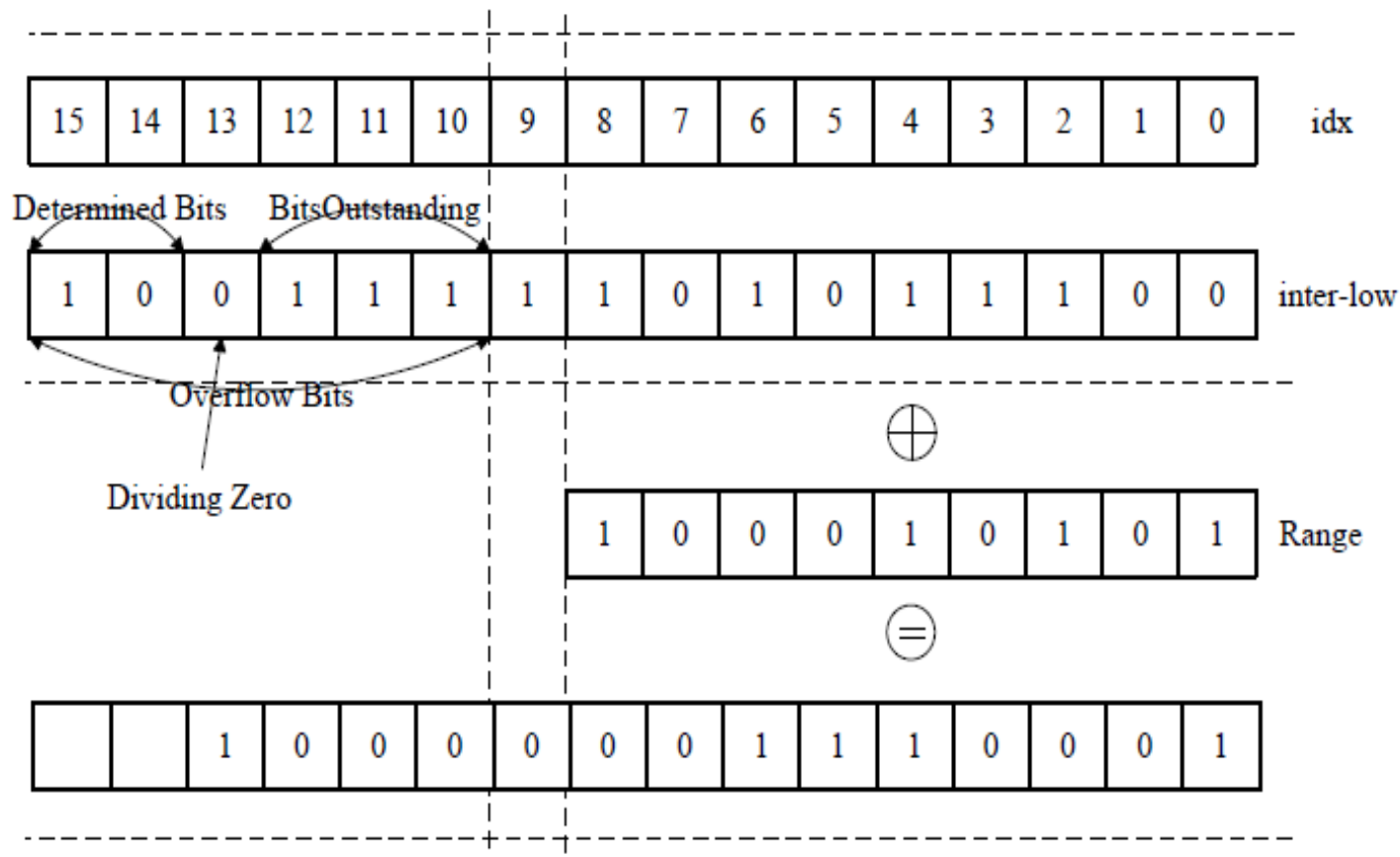
二进制算数编码 (BAE)



BAE四级流水线设计



BAE码流打包输出



CABAC Test Bench Interface

Frame start/done : 帧开始/结束信号

cabac start/done : cabac开始/结束信号

mb_x/mb_y : x/y 坐标LCU

mb_type : 1为I片, 0为P片

cu_skip_flag_r [84:0] :

[0]: 64×64 , [1:4] 32×32, [5:20] 16×16, [21:84] 8×8

coeff_luma [255:0] : 亮度数据输出

coeff_cr/cb [63:0] : 色度数据输出

1. CABAC编码开始，初始化寄存器和计数器；
2. 从input_file中读取数据，并配置存储器阵列；
3. 将输出数据保存在bs_file中，显示输出frame_num, mb_x, mb_y，输出和check_data不相符时显示并报错；
4. 分别进行binary_check, range_check, low_check,并将结果写回到相应文件中。


```
parameter FSDB_FILE = "cabac.fsdb" ;  
parameter INPUT_FILE = "./tv/cabac_input.dat" ;  
parameter CHECK_FILE = "./tv/bs_check.dat" ;  
parameter BS_FILE = "./dump/bit_stream.dat" ;  
parameter BINARY_FILE = "./dump/binary.dat" ;  
parameter RANGE_FILE = "./dump/range_update.dat" ;  
parameter LOW_FILE = "./dump/low_update.dat" ;  
parameter DATA_FILE = "./dump/data.dat" ;
```

由软件产生输入输出数据文件，输出文件用来check

《T-REC.H.265(201304)-High Efficient Video Coding》

《基于视频新标准HEVC的硬件熵编码器的研究与设计》 郭勇

《HEVC环路滤波及熵编码器算法研究及VLSI实现》 程魏

<http://soc.fudan.edu.cn/vip/> 相关论文

ASIC^o

专注开源硬件 IP Core

www.openasic.org

谢谢！