哈爾濱工業大學（深圳）
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

实验作业

开课学期：2022 春季

课程名称：计算机组成原理（实验）

实验名称：Booth 乘法器设计

实验性质：综合设计型

实验学时：4 地点：T2507

学生班级：20 级 8 班

学生学号：200210231

学生姓名：王木一

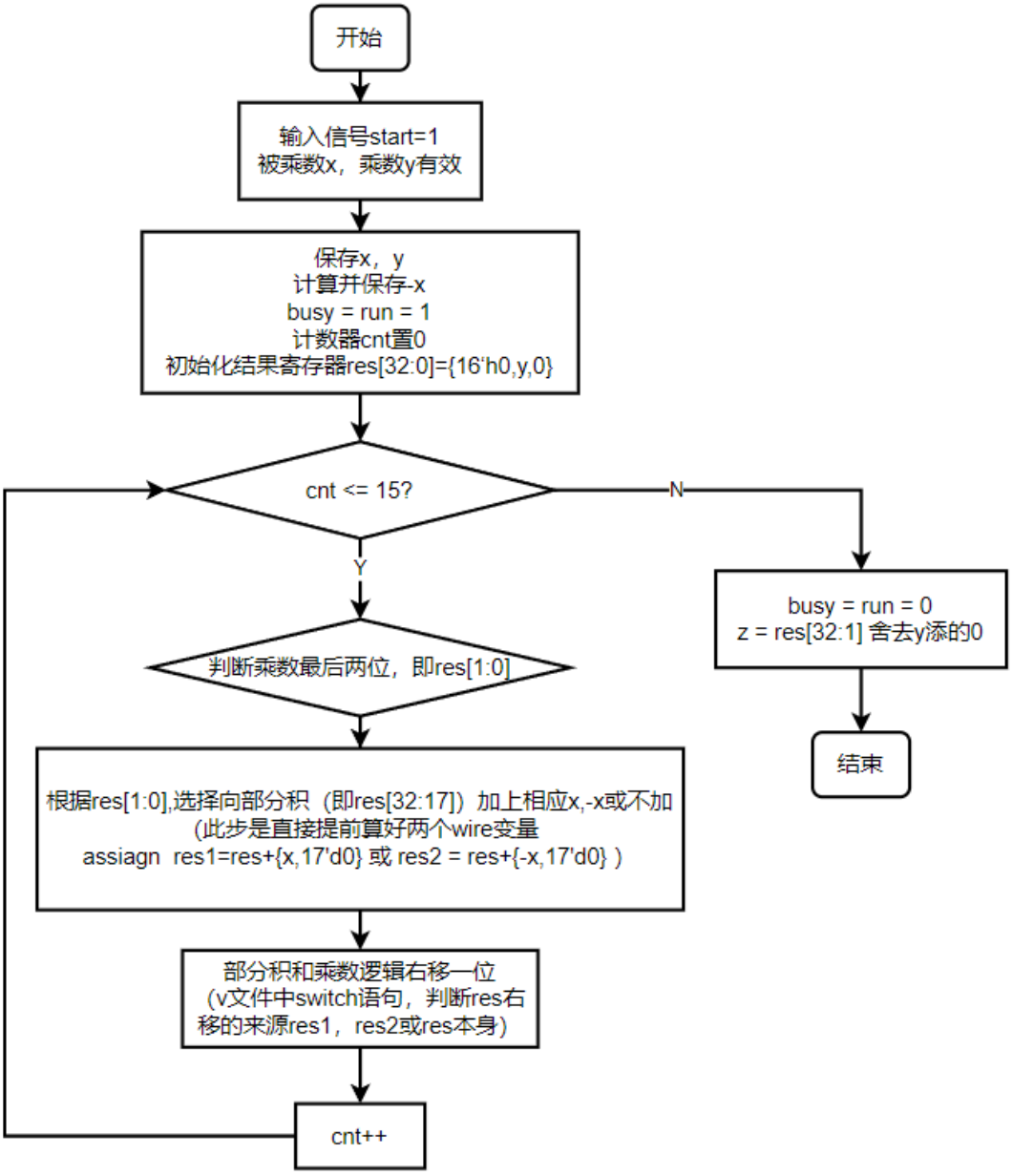
作业成绩：

实验与创新实践教育中心制

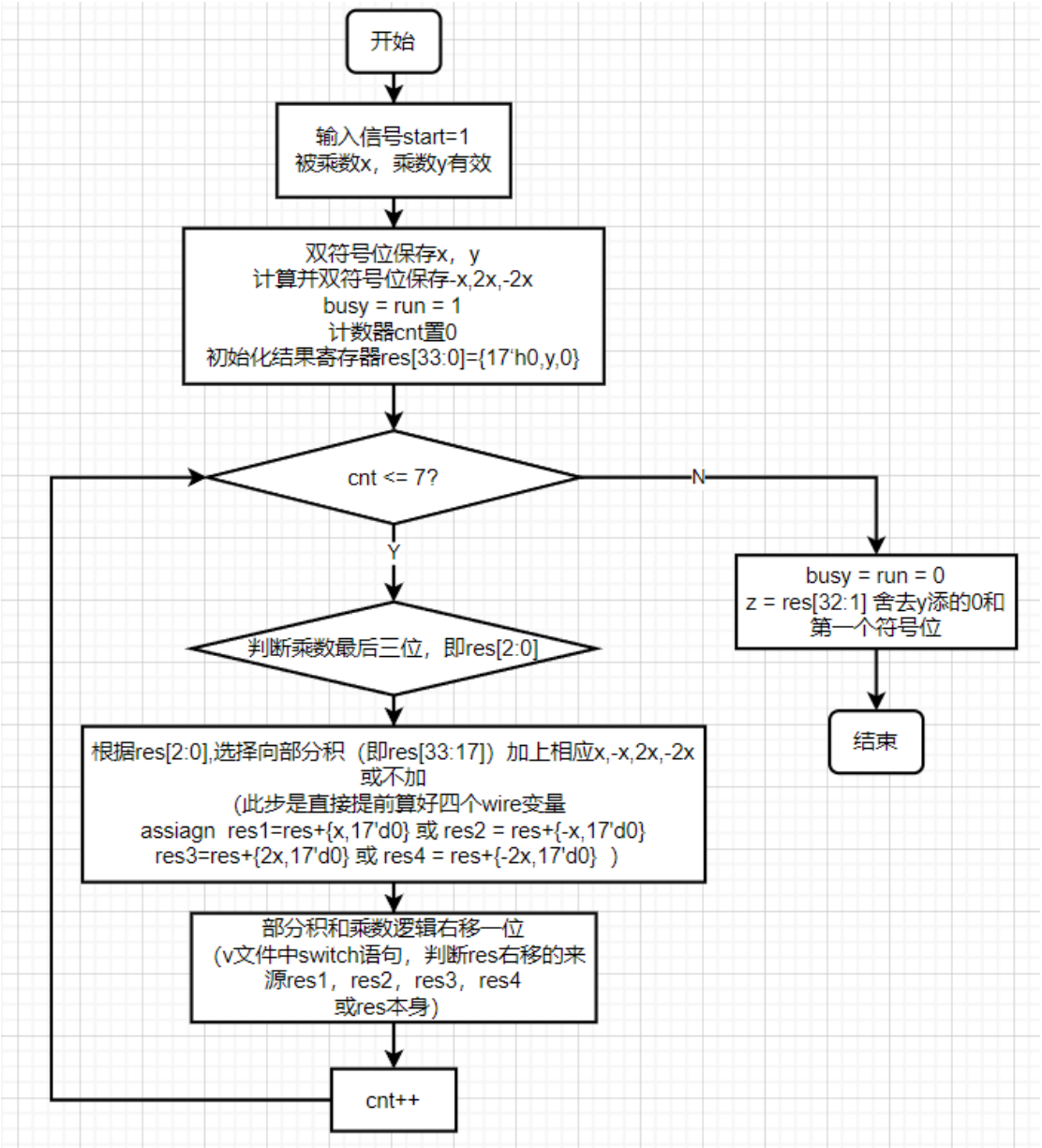
2022 年 4 月

1、Booth 乘法器算法流程图

booth.v



附加题：改进的 booth 算法，booth2.v



2、调试报告

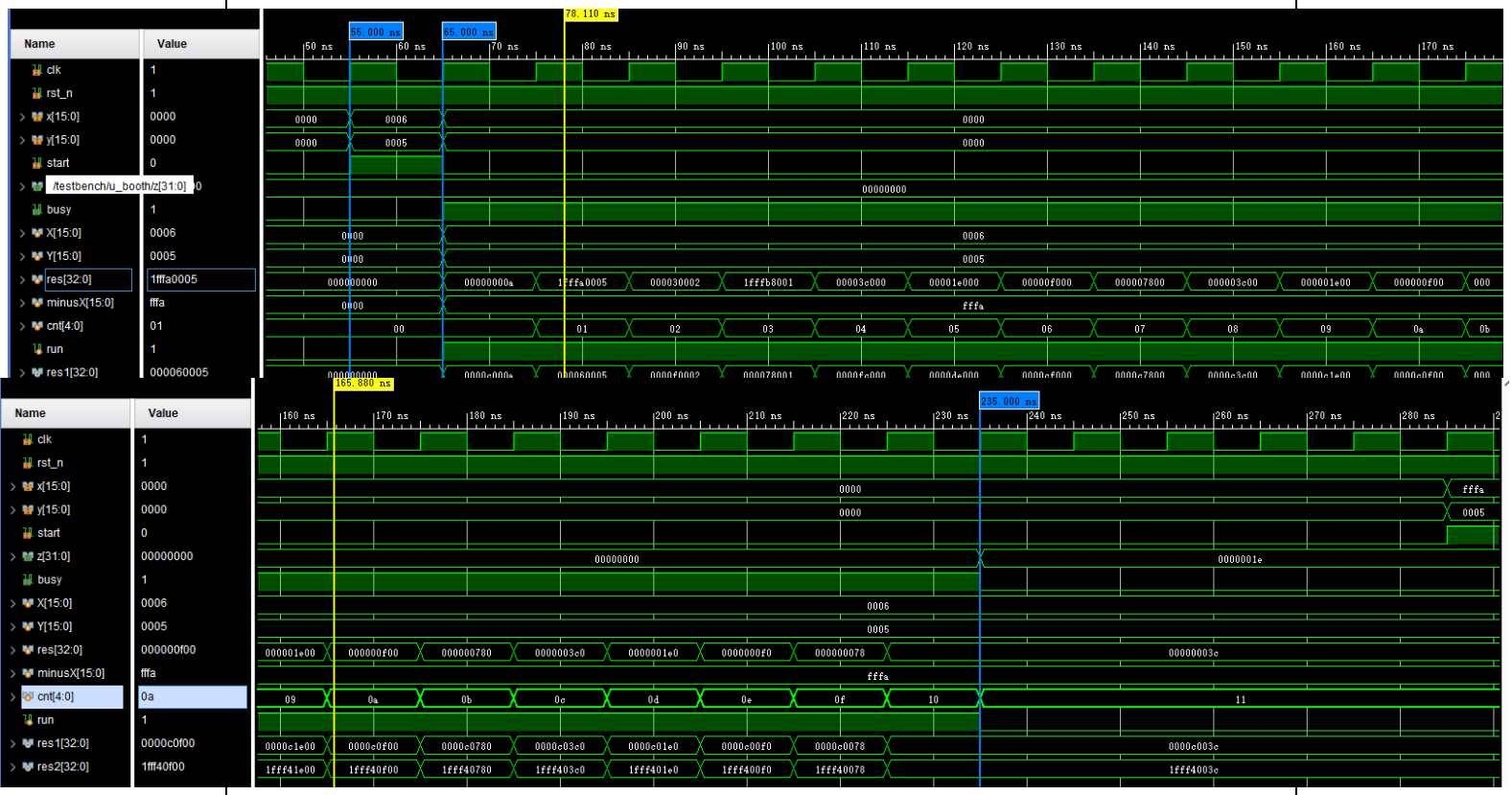
（仿真截图及时序分析，要求分析最少 3 次乘法运算）

Booth.v

内部信号解释：

信号	功能（数据以补码表示）
X[15:0]	保存被乘数 x
Y[15:0]	保存乘数 y
minusX[15:0]	保存被乘数-x
cnt[4:0]	计数器
run	同 busy
res[32:0]	其高 32 位为最终结果。初始时高 16 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的乘数 y

用例 1：0006*0005（6*5）



55ns：start=1；x 与 y 分别有信号，为 0006 和 0005

65ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

X[15:0]	0006
Y[15:0]	0005
-X[15:0]	fffa

cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00000000a	res 初始化，高 16 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	1fffa0005	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
2	000030002	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
3	1fffb8001	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
4	00003c000	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
5	00001e000	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
6	00000f000	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
7	000007800	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
8	000003c00	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
9	000001e00	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
a	000000f00	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
b	000000780	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
c	0000003c0	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
d	0000001e0	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
e	0000000f0	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
f	000000078	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
10	00000003c	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果

235ns: cnt 计数计到 11，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的高 32 位，即 z=0000001e=30

用例 2：fffa*0005（-6*5）

285ns：start=1；x 与 y 分别有信号，为 fffa 和 0005

295ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

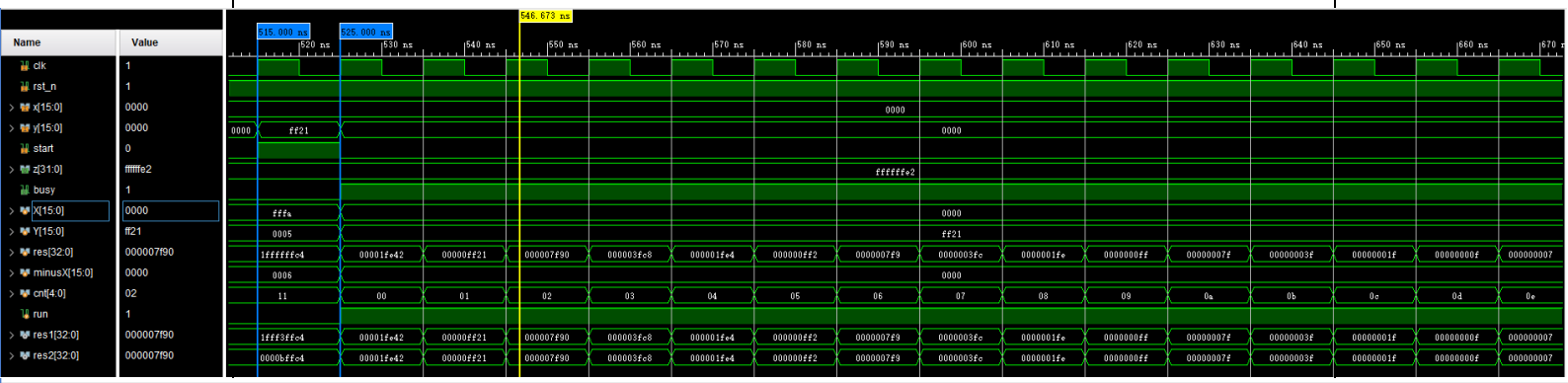
X[15:0]	fffa
Y[15:0]	0005
-X[15:0]	0006

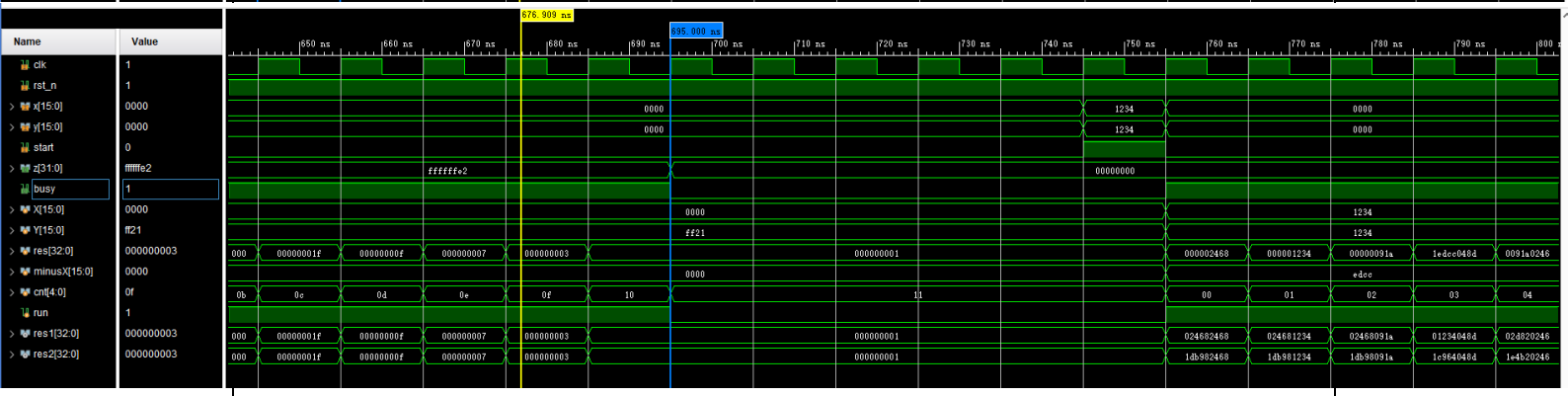
cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00000000a	res 初始化，高 16 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	00006005	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
2	1fffd0002	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
3	000048001	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
4	1fffc4000	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
5	1fffe2000	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
6	1ffff1000	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
7	1ffff8800	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果

8	1ffffc400	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
9	1ffffe200	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
a	1fffff100	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
b	1fffff880	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
c	1fffffc40	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
d	1fffffe20	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
e	1ffffff10	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
f	1ffffff88	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
10	1ffffffc4	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果

465ns: cnt 计数计到 11，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的高 32 位，即 z=fffffe2=-30。

用例 3：0000*ff21（0*(-223)）





515ns；start=1；x 与 y 分别有信号，为 0000 和 ff21

525ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

X[15:0]	0000
Y[15:0]	ff21
-X[15:0]	0000

cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00001fe42	res 初始化，高 16 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	00000ff21	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
2	000007f90	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
3	000003fc8	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
4	000001fe4	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
5	000000ff2	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
6	0000007f9	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
7	0000003fc	res 最低 2 位为 01，res 高 16 位加 x，逻辑右移 1 位后的结果
8	0000001fe	res 最低 2 位为 00，直接逻辑右移 1 位后的结果
9	0000000ff	res 最低 2 位为 10，res 高 16 位加-x，逻辑右移 1 位后的结果
a	00000007f	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
b	00000003f	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
c	00000001f	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
d	00000000f	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
e	000000007	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
f	000000003	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果
10	000000001	res 最低 2 位为 11，直接逻辑右移 1 位后的结果

6955ns: cnt 计数计到 11，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的高 32 位，即 z=00000000=0。

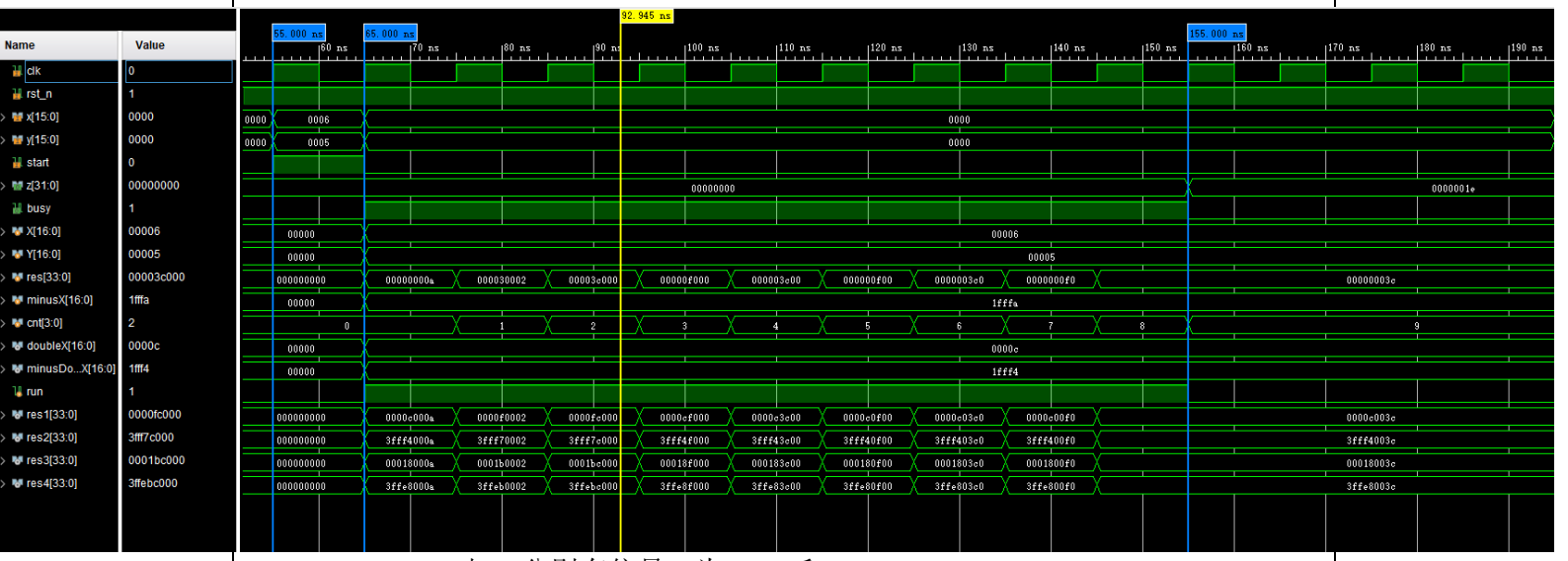
附加题：改进的 Booth 算法

booth2.v

内部信号解释：

信号	功能（数据以补码表示）
X[16:0]	保存被乘数 x，两位符号位
Y[16:0]	保存乘数 y，两位符号位
minusX[16:0]	保存被乘数-x，两位符号位
doubleX[16:0]	保存被乘数 2x，两位符号位
minusDoubleX[16:0]	保存被乘数-2x，两位符号位
cnt[3:0]	计数器
run	同 busy
res[33:0]	其[32:1]位为最终结果。初始时高 17 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的乘数 y

用例 1：0006*0005（6*5）



55ns；start=1；x 与 y 分别有信号，为 0006 和 0005

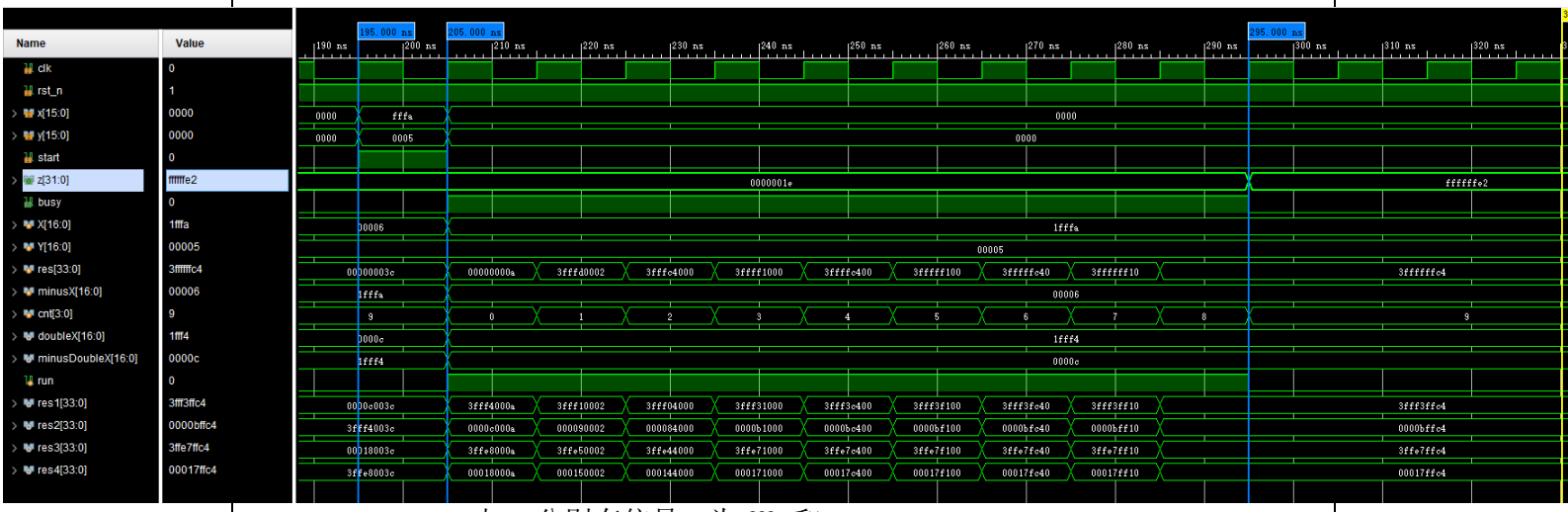
65ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

X[16:0]	00006
Y[16:0]	00005
-X[16:0]	1fffa
2X[16:0]	0000c
-2X[16:0]	1fff4

cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00000000a	res 初始化，高 17 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	000030002	res 最低 3 位为 101，res 高 17 位加-x，逻辑右移 2 位后的结果
2	00003c000	res 最低 3 位为 001，res 高 17 位加 x，逻辑右移 2 位后的结果
3	00000f000	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
4	000003c00	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
5	000000f00	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
6	0000003c0	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
7	0000000f0	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
8	00000003c	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果

155ns: cnt 计数计到 8，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的[32:1]位，即 z=0000001e=30

用例 2： fffa*0005（-6*5）



195ns；start=1；x 与 y 分别有信号，为 fffa 和 0005

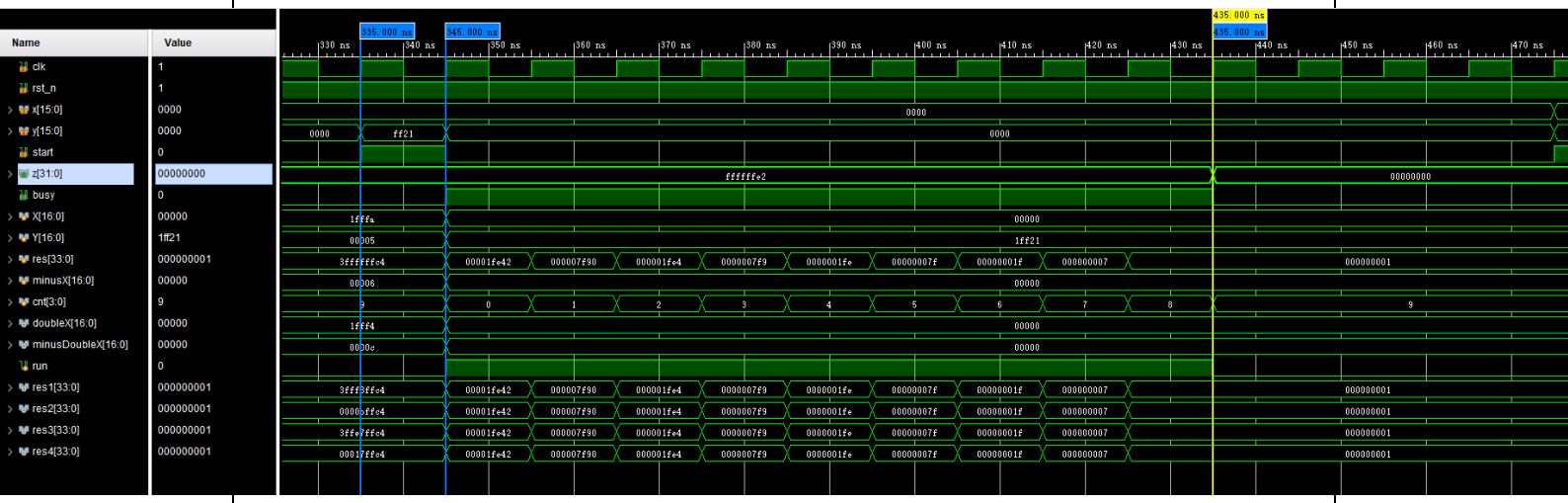
205ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

X[16:0]	1fffa
Y[16:0]	00005
-X[16:0]	00006
2X[16:0]	1fff4
-2X[16:0]	0000c

cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00000000a	res 初始化，高 17 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	3fffd0002	res 最低 3 位为 101，res 高 17 位加-x，逻辑右移 2 位后的结果
2	3fffc4000	res 最低 3 位为 001，res 高 17 位加 x，逻辑右移 2 位后的结果
3	3ffff1000	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
4	3ffffc400	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
5	3fffff100	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
6	3ffffc40	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
7	3ffffff10	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
8	3fffffc4	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果

295ns: cnt 计数计到 8，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的[32:1]位，即 z=fffffe2=-30

用例 3：0000*ff21(0000*(-223))



335ns：start=1；x 与 y 分别有信号，为 0000 和 ff21

345ns：start=0，busy=1，计数器 cnt 从 0 开始计数，乘法器开始计算。

X[16:0]	00000
Y[16:0]	1ff21
-X[16:0]	00000
2X[16:0]	00000
-2X[16:0]	00000

cnt[4:0]	res[32:0]	res 备注
0	00001fe42	res 初始化，高 17 位为 0，低 17 位为尾部添 0 的被乘数
1	000007f90	res 最低 3 位为 010，res 高 17 位加 x，逻辑右移 2 位后的结果
2	000001fe4	res 最低 3 位为 000，直接逻辑右移 2 位后的结果
3	0000007f9	res 最低 3 位为 100，res 高 17 位加-2x，逻辑右移 2 位后的结果
4	0000001fe	res 最低 3 位为 001，res 高 17 位加 x，逻辑右移 2 位后的结果
5	00000007f	res 最低 3 位为 110，res 高 17 位加-x，逻辑右移 2 位后的结果
6	00000001f	res 最低 3 位为 111，直接逻辑右移 2 位后的结果
7	000000007	res 最低 3 位为 111，直接逻辑右移 2 位后的结果
8	000000001	res 最低 3 位为 111，直接逻辑右移 2 位后的结果

435ns: cnt 计数计到 8，计算结束 busy=0，最终结果 z 截取 res 的[32:1]位，即 z=00000000=0