

# 定点数制系统

文档类型	技术培训
作者	杜伟韬 © ECDAV
创建日期	20070810
修改日期	20140325

# 定点数制系统

---

- 有符号数和2的补码
- 2补码转有符号原码
- 有符号原码转补码
- 补码的溢出特性
- Verilog关键字 signed
- 小数点定标和动态范围
- Matlab仿真

# 有符号数与2的补码

- 计算机中整数的表示方法
  - int 类型变量
- 采用2补码的优点
  - 避免 +0 和 -0
  - 统一加减法
  - 良好的溢出性质

二进制数值	无符号整数	有符号原码	2补码
0000	0	0	0
0001	1	1	1
0010	2	2	2
0011	3	3	3
0100	4	4	4
0101	5	5	5
0110	6	6	6
0111	7	7	7
1000	8	-0	-8
1001	9	-1	-7
1010	10	-2	-6
1011	11	-3	-5
1100	12	-4	-4
1101	13	-5	-3
1110	14	-6	-2
1111	15	-7	-1

# 2补码与有符号原码的转换

- 2补码转有符号原码
  - MSB为0, 不变
  - MSB为1, 其余位取反加1, (丢弃2nd MSB的进位, 不进入MSB)
  - 此法不用于负极大值
- 有符号原码转2补码
  - MSB为0, 不变
  - MSB为1, 其余位取反加1, (丢弃2nd MSB的进位, 不进入MSB)
  - 此法不用于 - 0

二进制数值	无符号整数	有符号原码	2补码
0000	0	0	0
0001	1	1	1
0010	2	2	2
0011	3	3	3
0100	4	4	4
0101	5	5	5
0110	6	6	6
0111	7	7	7
1000	8	-0	-8
1001	9	-1	-7
1010	10	-2	-6
1011	11	-3	-5
1100	12	-4	-4
1101	13	-5	-3
1110	14	-6	-2
1111	15	-7	-1

# 2补码的溢出特性

- 2补码加法规则
  - 和无符号数一样
  - 所有位均参与运算和进位
- 溢出回绕特性
  - 设有N个2补码数相加
  - 即使中间结果溢出
  - 如果理论计算的结果不溢出
  - 则实际运算的结果也不溢出
- 计算举例
  - $-3 - 7 + 5 = -5$
  - $1101 + 1001 + 0101 = 1011$

二进制数值	无符号整数	有符号原码	2补码
0000	0	0	0
0001	1	1	1
0010	2	2	2
0011	3	3	3
0100	4	4	4
0101	5	5	5
0110	6	6	6
0111	7	7	7
1000	8	-0	-8
1001	9	-1	-7
1010	10	-2	-6
1011	11	-3	-5
1100	12	-4	-4
1101	13	-5	-3
1110	14	-6	-2
1111	15	-7	-1

# Verilog关键字 signed

---

- `signed reg[7:0]`
  - 二补码有符号数
  - 没有“signed”关键字默认“unsigned”
- 综合与仿真
  - 工具设定 Verilog2001标准
  - Quartus综合器支持
  - Modelsim仿真器支持

# 符号扩展

- 改变2补码有符号数据长度
- 被扩充部分的数据变化规则
- 举例
  - 8比特 2补码  $-1 = 1111, 1111$
  - 6比特 2补码  $-1 = 11, 1111$
- 进行位操作的时候要慎重
- 无符号左移  $\ll$  与 无符号右移
  - 填充固定的数据（通常是0）、可以自行实验确认
- 算术左移  $\lll$  与 算术右移  $\ggg$ 
  - 移位的时候进行符号填充扩展
  - 使用的时候需要小心，最好先仿真确认编译器行为
  - Verilog 2001支持，详见标准

# 定点数格式

- 数据的结构
  - 符号位、整数部分、小数部分
- 计算举例
  - 符号1比特、整数2比特、小数2比特
  - $11011 = -1 \times 2^1 + 2^{-1} + 2^{-2}$
- 各部分长度设定的依据
  - 根据算法的精度要求
  - 不同的系统设定亦不同
  - 系统设计人员自行设定

# 定点格式的设置依据

---

- 系统的动态范围
  - 整数部分决定
- 系统的数值精度
  - 小数部分决定
- 设计举例 FIR滤波器的增益
  - 输入数据纯小数
  - 系数序列为  $[-1, 2, -4, 8, -4, 2, -1]$
  - 根据系数计算增益
  - 确定各部分长度

# 定点系统的仿真

- 仿真作用
  - 设定定点系统参数
- 数据长度参数
  - 整数字长
  - 小数字长
- 运算规则参数
  - 加法溢出规则（回绕、饱和）
  - 加法、乘法的结果保留规则（MSBs、LSBs）
- 数据截断或右移操作时LSB的处理规则
  - 不同的规则造成的电路开销不同
  - 向上、向下取整
  - 四舍五入
  - 直接截尾

# 定点仿真工具

---

- 使用专门的工具
  - Matlab 的 fixedpoint toolbox
  - Matlab 的 simulink
  - 安捷纶 公司 SystemView
  - 运行速度和工具有关 (Matlab的定点比较慢)
- 自己写定点代码
  - 使用编程工具语言提供的整数运算
  - 这样的运行速度较高

