



中山大學 软件工程学院
SUN YAT-SEN UNIVERSITY SCHOOL OF SOFTWARE ENGINEERING

计算机组成原理实验

授课老师：吴炜滨

■ 实验报告一提交时间

- 提交截止时间：11月14日凌晨0点整
- 将实验报告一的报告文件（pdf格式）与电路源文件打包成一个zip提交
- 实验报告（pdf格式）命名为：学号_姓名_实验报告一
- Zip文件命名为：学号_姓名_实验报告一

■ 提交方式

- 坚果云
- 提交链接在实验报告一模板的首页

➤ 数据表示实验

- 海明校验码设计实验
 - 实验目的、任务与原理
 - 理论知识准备
 - 实验步骤



➤ 数据表示实验

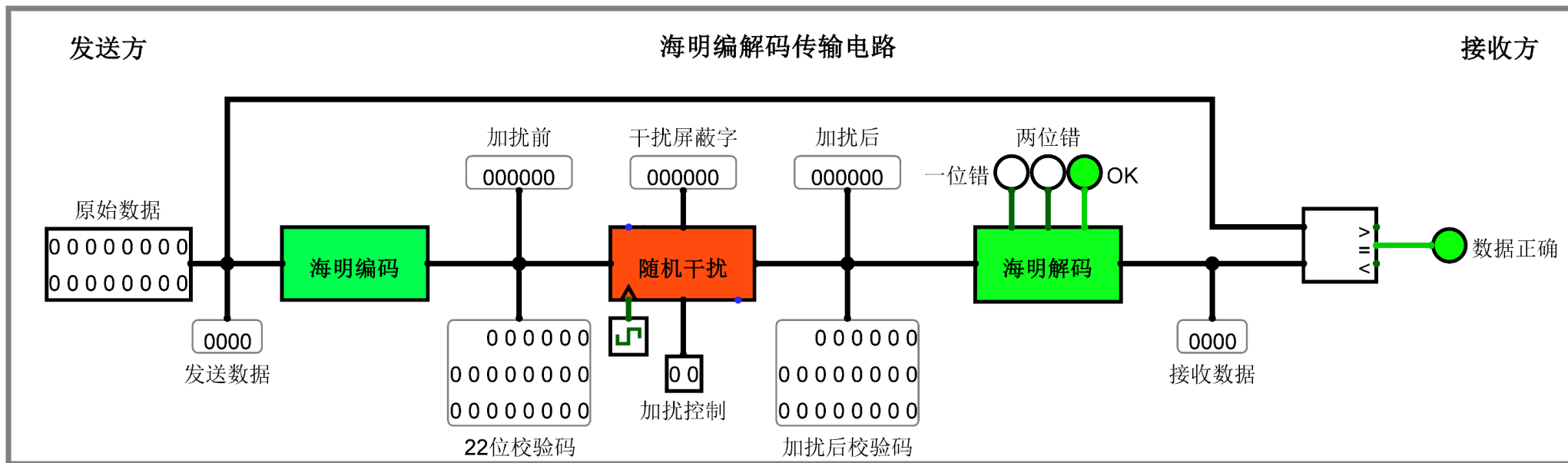
- 海明校验码设计实验
 - 实验目的、任务与原理

实验目的与任务



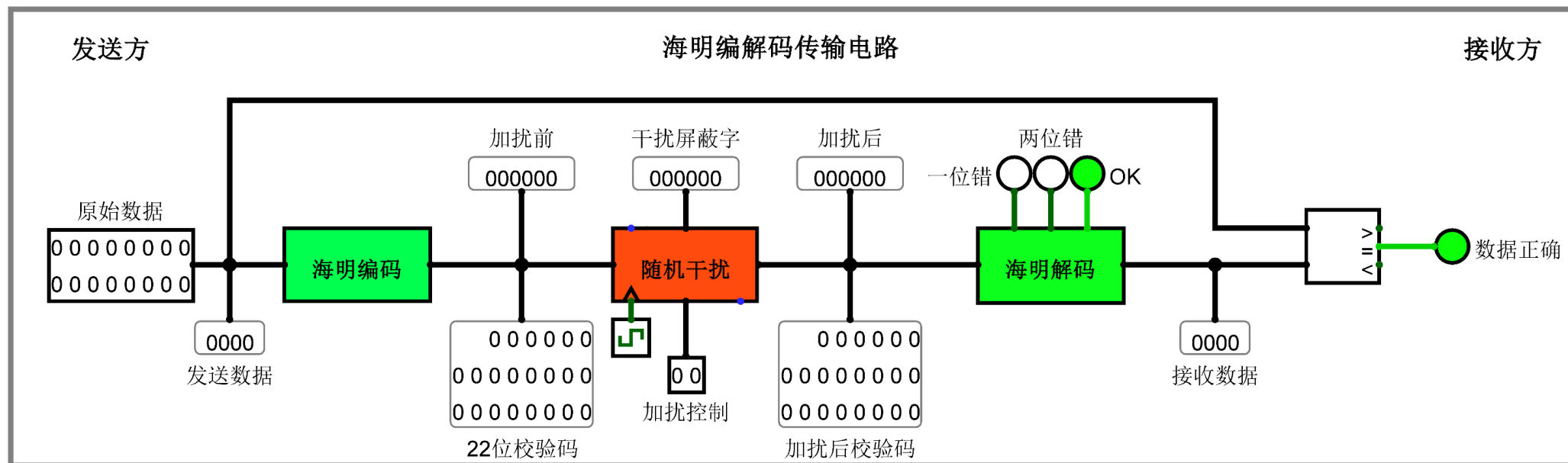
■ 掌握海明校验码的设计原理，理解其检错、纠错性能

- 设计包含16位原始数据（汉字机内码）的海明校验码
- 实现包含16位原始数据位的海明校验码的编解码电路
 - 假设无三位错，解码电路能够检测一位错以及两位错，并纠正一位错



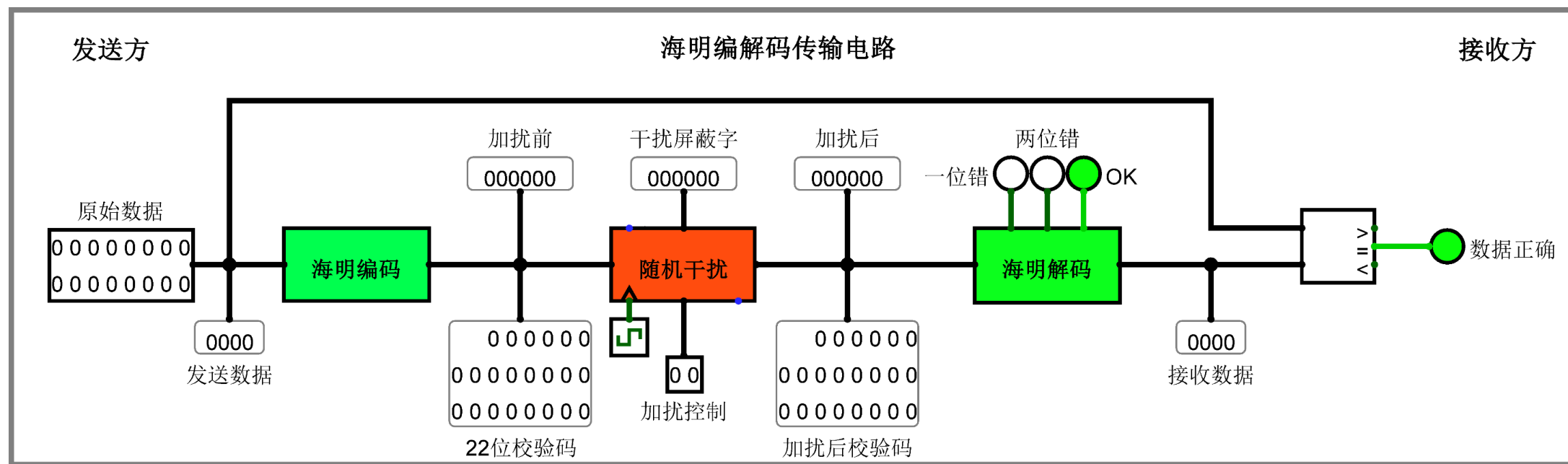
■ 发送方：海明编码

- 原始数据：16位汉字机内码
- 经海明编码，得到22位海明校验码



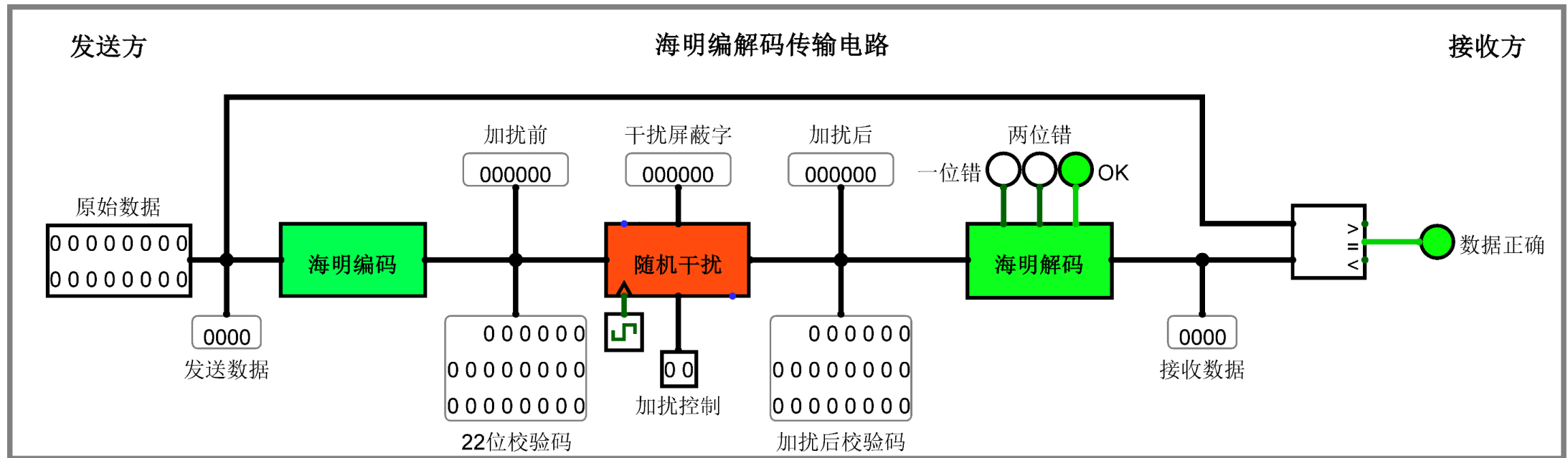
■ 数据传输：随机干扰模块

- 00：不加扰（数据不会产生错误）
- 01：1位加扰（数据产生随机的1位错）
- 10：2位加扰（数据产生随机的2位错）
- 11：0-2位加扰（数据产生随机的0-2位错）



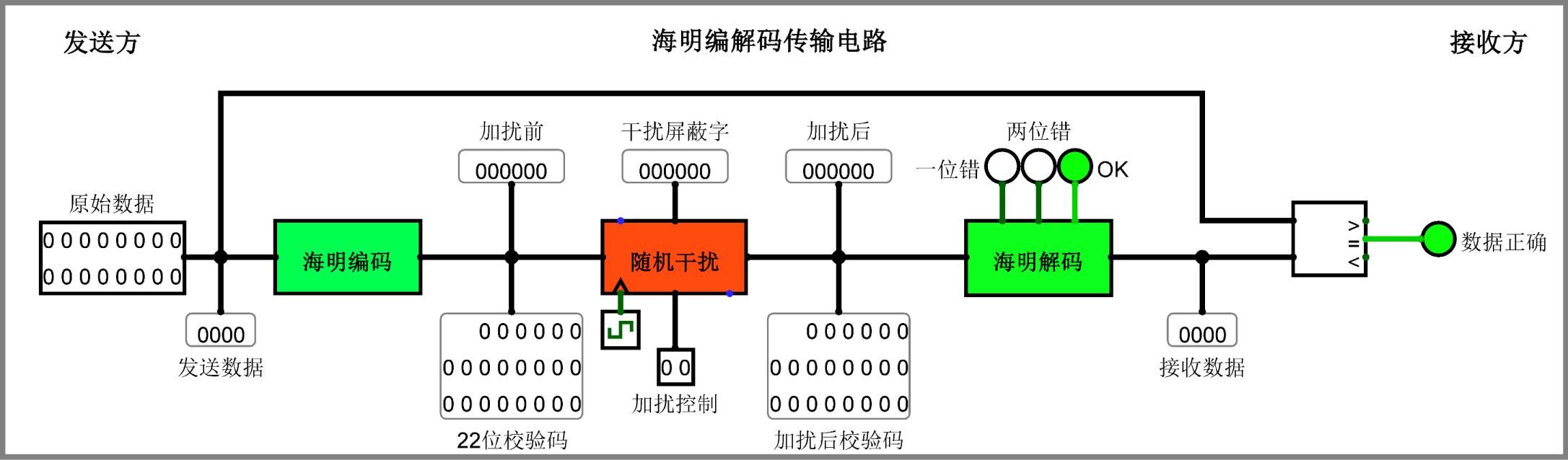
■ 接收方：海明解码

- 能够检测一位错、两位错，并且能够判断是否没有错误
- 当有一位错时，应该能够纠错，将正确的数据发送给接收方



■ 测试

- 接收方解码的数据与原始数据直接比较，生成数据正确这个判断信号



➤ 数据表示实验

- 海明校验码设计实验
 - 理论知识准备

一位纠错海明码



■ 海明码编码规则

- 原始数据信息被分成若干个校验组，每组设置一个奇/偶校验位
- 每个校验组在检错时会得到一个检错位
- 所有校验组的检错位的值组成检错码
 - 检错码值为0时，大概率无错误
 - 检错码值不为0时，指出一位出错的位置

■ 海明码需增添多少位校验位？

- 设海明码 $H_1H_2 \cdots H_n$ 共 n 位，原始数据 $D_1D_2 \cdots D_k$ 共 k 位，校验位 $P_1P_2 \cdots P_r$ 共 r 位
- $n = k + r$
- 包含 r 个校验组，即 r 个检错位，来指出 $k + r + 1$ 种状态

$$2^r \geq r + k + 1$$

一位纠错海明码



■ 海明码需增添多少位校验位?

- 设海明码 $H_1H_2 \cdots H_n$ 共 n 位, 原始数据 $D_1D_2 \cdots D_k$ 共 k 位, 校验位 $P_1P_2 \cdots P_r$ 共 r 位
- $n = k + r$
- 包含 r 个校验组, 即 r 个检错位, 来指出 $k + r + 1$ 种状态

$$2^r \geq r + k + 1$$

- $k = 16$ 时
 - $r = 5$

一位纠错海明码



■ 海明码校验位的位置？

- 设海明码 $H_1H_2 \cdots H_n$ 共 n 位，原始数据 $D_1D_2 \cdots D_k$ 共 k 位，校验位 $P_1P_2 \cdots P_r$ 共 r 位
- 检错码 $G_r \cdots G_2G_1$ 共 r 位
- 校验位只对数据位进行校验 \rightarrow 校验位只位于一个校验组
 - 出错时，其检错码只有一位为1
 - $001, 010, 100 \rightarrow 2^i \ (i = 0, 1, 2, \cdots)$

海明码	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
检错码/出错位置	001	010	011	100	101	110	111
映射关系	P_1	P_2	D_1	P_3	D_2	D_3	D_4
G_1 校验组	√						
G_2 校验组		√					
G_3 校验组				√			

一位纠错海明码



■ 海明码数据位如何分组？

- H_3 (D_1) 出错：
 - 检错码为011, 应参与 G_1 , G_2 校验组
- H_5 (D_2) 出错：
 - 检错码为101, 应参与 G_1 , G_3 校验组
- 以此类推

海明码	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
检错码/出错位置	001	010	011	100	101	110	111
映射关系	P_1	P_2	D_1	P_3	D_2	D_3	D_4
G_1 校验组	√		√		√		√
G_2 校验组		√	√			√	√
G_3 校验组				√	√	√	√

一位纠错海明码



■ 校验位的取值？

- 校验位的取值与该位所在的校验组中承担的奇/偶校验任务有关
 - 常用偶校验

$$P_1 = H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 \cdots$$

海明码	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
检错码/出错位置	001	010	011	100	101	110	111
映射关系	P_1	P_2	D_1	P_3	D_2	D_3	D_4
G_1 校验组	√		√		√		√
G_2 校验组		√	√			√	√
G_3 校验组				√	√	√	√

一位纠错海明码的检错、纠错过程



■ 约定好编码规则

- 一位纠错海明码，偶检验

■ 对每一组进行校验生成检错码

- 位数等于校验位位数，如校验位 $P_1 P_2 \cdots P_r$ 共 r 位，检错码 $G_r \cdots G_2 G_1$ 也共 r 位
- 发送方发送数据位为 $D_1 D_2 \cdots D_k$
- 接收方收到数据位为 $D_1' D_2' \cdots D_k'$ ，校验位为 $P_1' P_2' \cdots P_r'$
- 以 $k + r = 7$ 为例

位置	001	010	011	100	101	110	111
海明码	H_1'	H_2'	H_3'	H_4'	H_5'	H_6'	H_7'
映射关系	P_1'	P_2'	D_1'	P_3'	D_2'	D_3'	D_4'

一位纠错海明码的检错、纠错过程



位置	001	010	011	100	101	110	111
海明码	H_1'	H_2'	H_3'	H_4'	H_5'	H_6'	H_7'
映射关系	P_1'	P_2'	D_1'	P_3'	D_2'	D_3'	D_4'

■ 对每一组进行校验生成检错码

- 对于按“偶校验”配置的海明码, G_i 的取值为

$$G_1 = H_1' \oplus H_3' \oplus H_5' \oplus H_7'$$

$$G_2 = H_2' \oplus H_3' \oplus H_6' \oplus H_7'$$

$$G_3 = H_4' \oplus H_5' \oplus H_6' \oplus H_7'$$

- 检错码值为0时, 大概率无错误
- 检错码值不为0时, 指出一位出错的位置, 可进行纠错
 - 将出错位取反即可

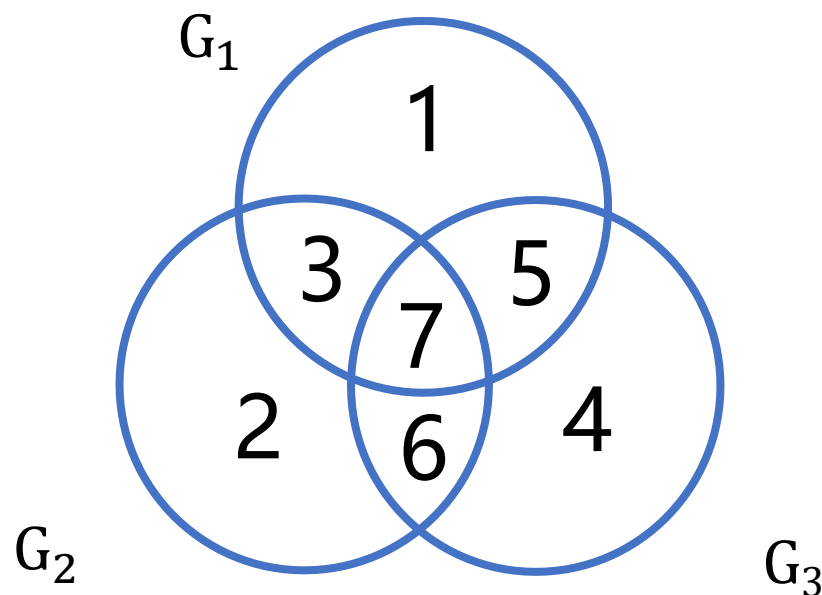
拓展海明码



■ 当发生两位错时

- 假如 H_3 和 H_5 同时发生错误
 - 检错码为110
 - 与 H_6 出错的检错码重叠，无法区分一位错还是两位错

H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



拓展海明码



■ 当发生两位错时

- 需引入总偶校验位
 - $P_{all} = H_1 \oplus H_2 \oplus H_3 \oplus \cdots \oplus H_7$
- 总偶校验检错位 G_{all}
 - $G_{all} = P'_{all} \oplus H'_1 \oplus H'_2 \oplus H'_3 \oplus \cdots \oplus H'_7$

H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	P_{all}
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----------



➤ 数据表示实验

- 海明校验码设计实验
 - 实验步骤



■ 完成 $k = 16$ 的拓展海明码的校验分组设计

- 根据海明编码规则填写海明校验组分布表，得到各校验位 $(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$ 逻辑表达式

	H₁	H₂	H₃	H₄	H₅	H₆	H₇	H₈	H₉	H₁₀	H₁₁	H₁₂	H₁₃	H₁₄	H₁₅	H₁₆	H₁₇	H₁₈	H₁₉	H₂₀	H₂₁
检错码	00001	00010	00011	00100	00101	00110	00111	01000	01001	01010	01011	01100	01101	01110	01111	10000	10001	10010	10011	10100	10101
对应位	P₁	P₂	D₁	P₃	D₂	D₃	D₄	P₄	D₅	D₆	D₇	D₈	D₉	D₁₀	D₁₁	P₅	D₁₂	D₁₃	D₁₄	D₁₅	D₁₆
G₁组	√		√		√		√		√		√										
G₂组		√	√			√	√			√	√										
G₃组				√	√	√	√														
G₄组								√	√	√	√										
G₅组																√					

$$P_1 = H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 \oplus \cdots$$



■ 完成 $k = 16$ 的拓展海明码的校验分组设计

- 根据海明编码规则填写海明校验组分布表，得到海明检错码（ $G: G_5G_4G_3G_2G_1$ ）逻辑表达式

	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂	H ₁₃	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆	H ₁₇	H ₁₈	H ₁₉	H ₂₀	H ₂₁
检错码	00001	00010	00011	00100	00101	00110	00111	01000	01001	01010	01011	01100	01101	01110	01111	10000	10001	10010	10011	10100	10101
对应位	P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄	P ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁	P ₅	D ₁₂	D ₁₃	D ₁₄	D ₁₅	D ₁₆
G ₁ 组	√		√		√		√		√		√										
G ₂ 组		√	√			√	√			√	√										
G ₃ 组				√	√	√	√														
G ₄ 组								√	√	√	√										
G ₅ 组																√					

$$G_1 = H'_1 \oplus H'_3 \oplus H'_5 \oplus H'_7 \oplus \cdots$$

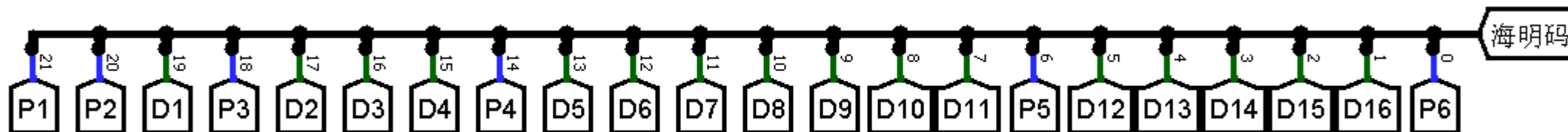
实验准备



■ 完成 $k = 16$ 的拓展海明码的校验分组设计

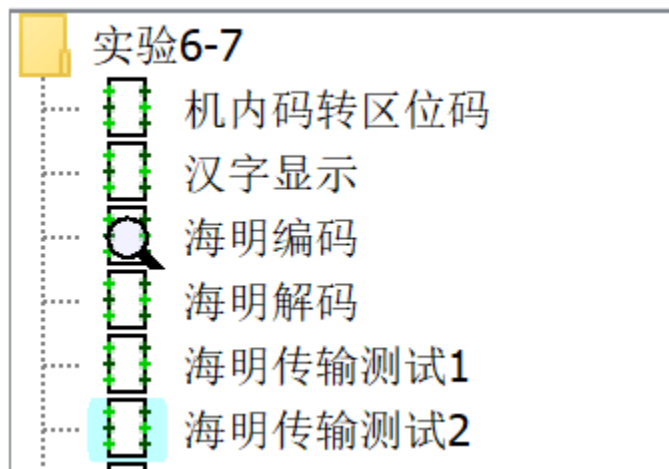
- 为区分一位错和两位错，需要额外引入总偶校验位 P_{all} (P_6)
 - $P_{all} = H_1 \oplus H_2 \oplus H_3 \oplus \dots \oplus H_{21}$
- 总偶校验检错位 G_{all} (G_6)
 - $G_{all} = P'_{all} \oplus H'_1 \oplus H'_2 \oplus H'_3 \oplus \dots \oplus H'_{21}$

H₁	H₂	H₃	H₄	H₅	H₆	H₇	H₈	H₉	H₁₀	H₁₁	H₁₂	H₁₃	H₁₄	H₁₅	H₁₆	H₁₇	H₁₈	H₁₉	H₂₀	H₂₁	P_{all}
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------



■ 实验涉及子电路

- 海明编码（子电路1，需完成）
- 海明解码（子电路2，需完成）
- 海明传输测试1（子电路1测试，子电路2测试）
- 海明传输测试2（整体电路测试）
- 机内码转区位码（需完成，用于整体电路测试）

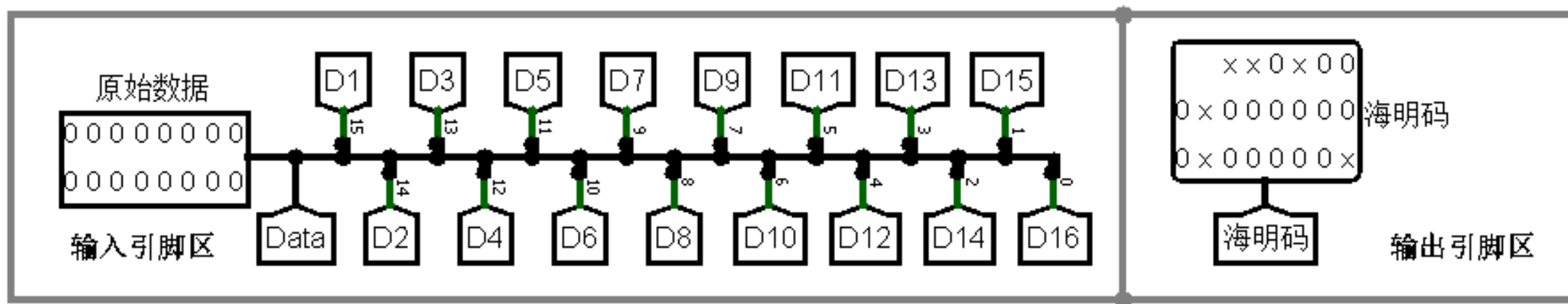


子电路1：海明编码



■ 海明编码子电路

- 输入：16位原始数据
- 输出：22位海明编码，总偶校验位放在最后
- 请勿增改删引脚及子电路封装，使用隧道标签实现相应逻辑



电路功能：海明编码电路，可检两位错并纠一位错，输入：16位；输出：22位海明码（数据位+校验位）

请勿增改引脚，请勿修改子电路封装

请在下方利用上方输入输出引脚的隧道信号构建电路，ctrl+d复制选择部件

子电路1：海明编码

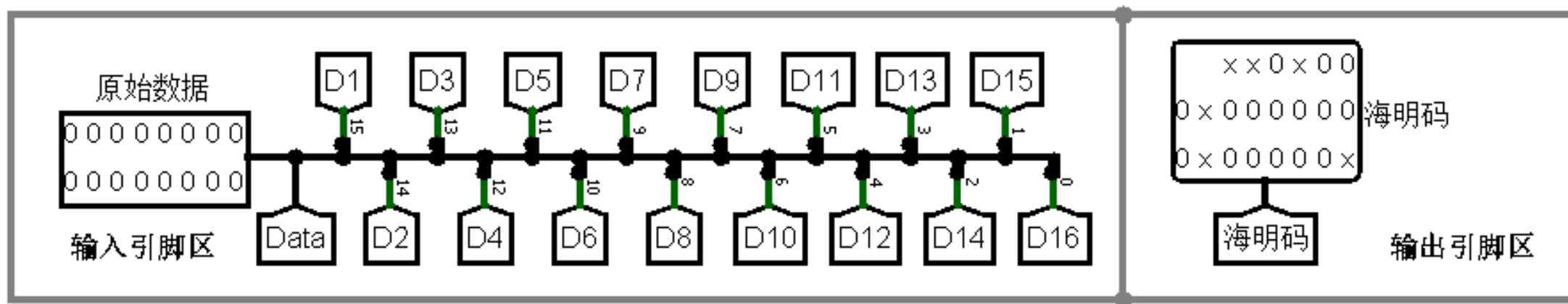


■ 实现各个校验位

- 根据校验分组规则，把相应校验组的所有原始数据进行异或

$$P_1 = H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 \oplus \dots$$

$$P_{all} (P_6) = H_1 \oplus H_2 \oplus H_3 \oplus \dots \oplus H_{21}$$



电路功能：海明编码电路，可检两位错并纠一位错，输入：16位；输出：22位海明码（数据位+校验位）

请勿增减引脚，请勿修改子电路封装

请在下方利用上方输入输出引脚的隧道信号构建电路，ctrl+d复制选择部件

子电路1：海明编码



■ 实现各个校验位

- 注意异或门的行为属性

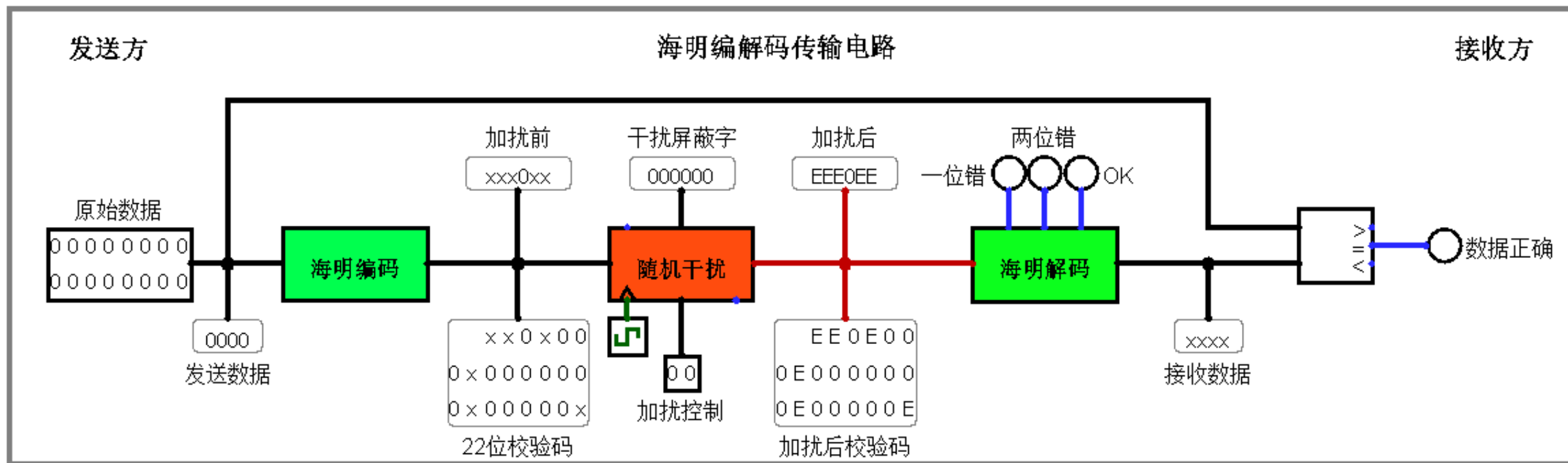
选区：异或门(XOR Gate)	
朝向	东
数据位宽	1
门尺寸	中等
输入引脚数量	2
输出值	0/1
标签	
标签字体	SansSerif 标准 12
多输入行为	当奇数个输入为1时输出1
反转1 (顶部)	否
反转2 (底部)	否

子电路1测试: 海明传输测试1



■ 测试方法

- 输入1个16位机内码, 观察并验算得到的海明编码是否正确

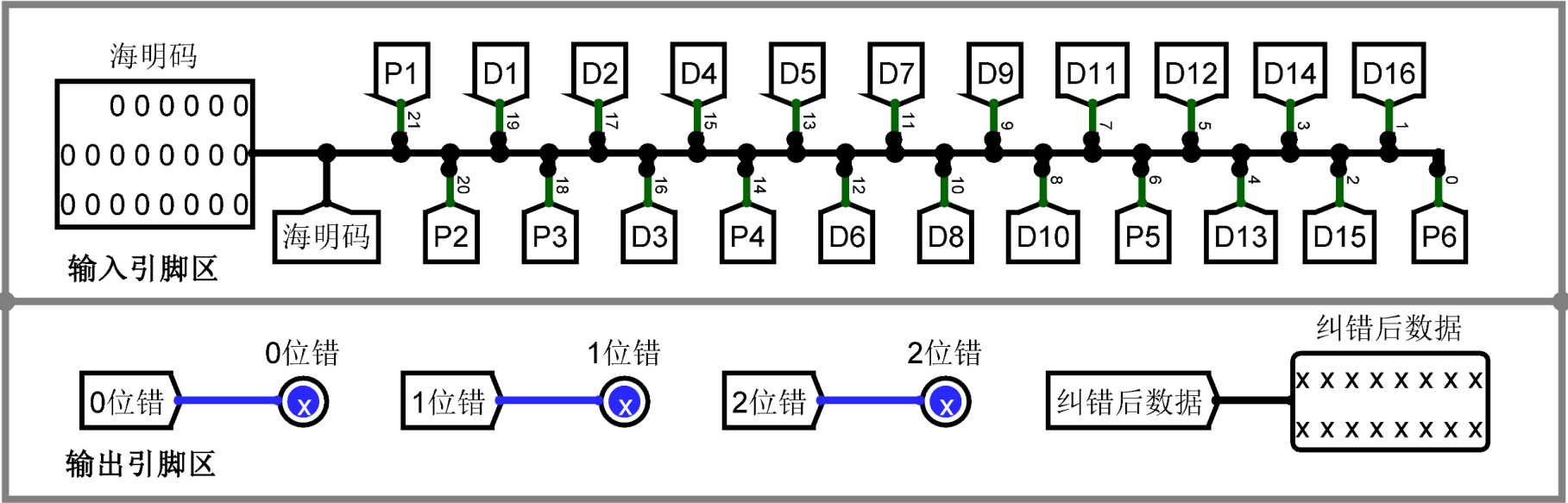


子电路2：海明解码



海明解码子电路

- 输入：22位海明编码
- 输出：0位错标识、1位错标识、2位错标识（高电平有效），纠错后的16位原始数据（当发生一位错时）
- 请勿增改删引脚及子电路封装，使用隧道标签实现相应逻辑



子电路2：海明解码

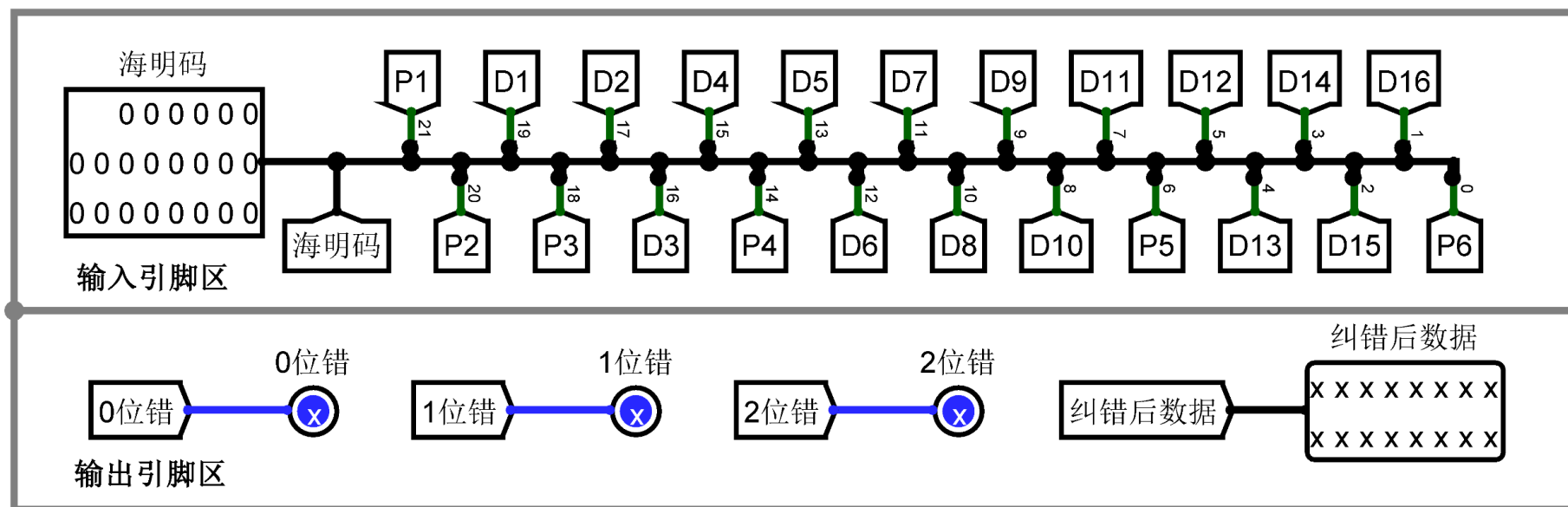


■ 实现各个检错位

- 根据校验分组规则，把相应校验组的所有数据（原始数据+校验位）进行异或

$$G_1 = H'_1 \oplus H'_3 \oplus H'_5 \oplus \dots$$

$$G_{all} \ (G_6) = P'_{all} \oplus H'_1 \oplus H'_2 \oplus H'_3 \oplus \dots \oplus H'_{21}$$

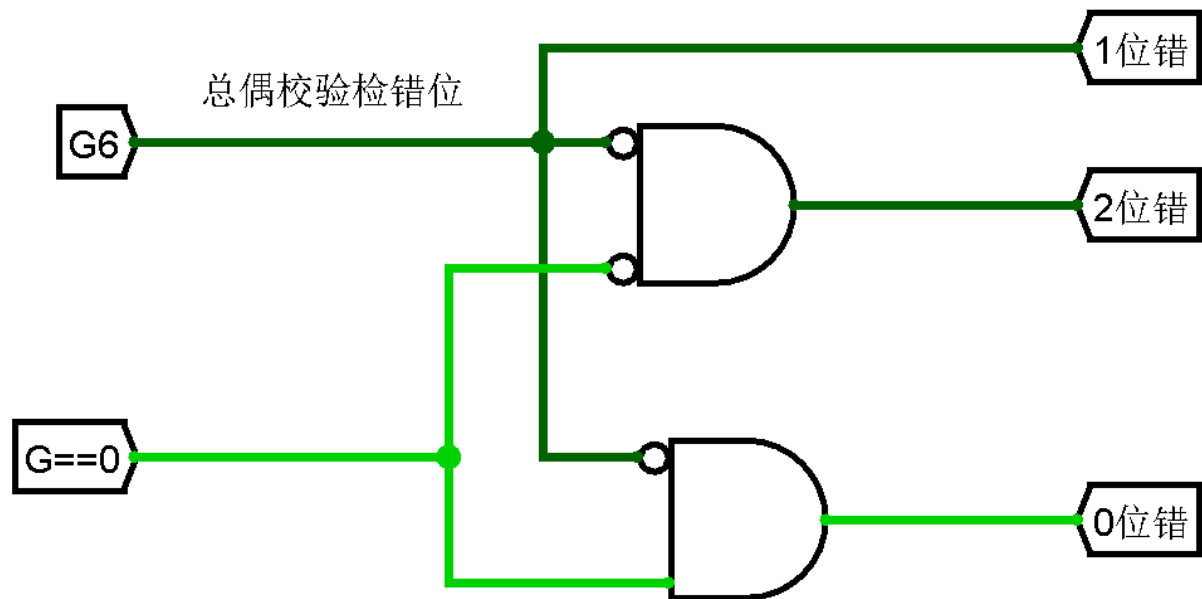


子电路2：海明解码



■ 错误标志位的电路设计

- 假设最多发生两位错
- $G_{all}(G_6) = 1$
 - 发生奇数位错，即发生一位错
 - 若海明检错码 $G = 0$ ，表明总偶校验位 P_{all} (P_6) 发生错误
 - 若海明检错码 $G \neq 0$ ，表明一位纠错海明编码发生错误，可利用其检错码 G 进行纠错
- $G_{all}(G_6) = 0$
 - 无错误，或发生偶数位错（两位错）
 - 海明检错码 $G \neq 0$ ，两位错
 - 海明检错码 $G = 0$ ，无错误



子电路2：海明解码



■ 纠错电路设计

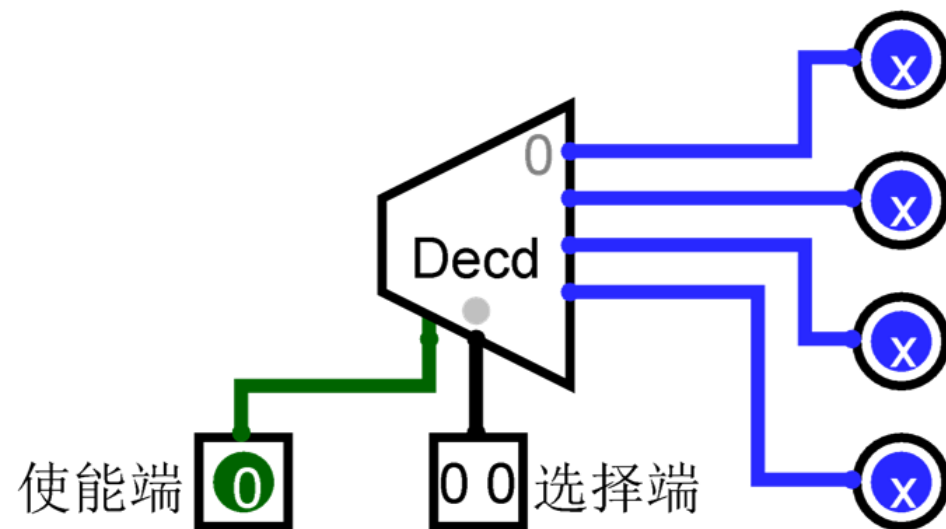
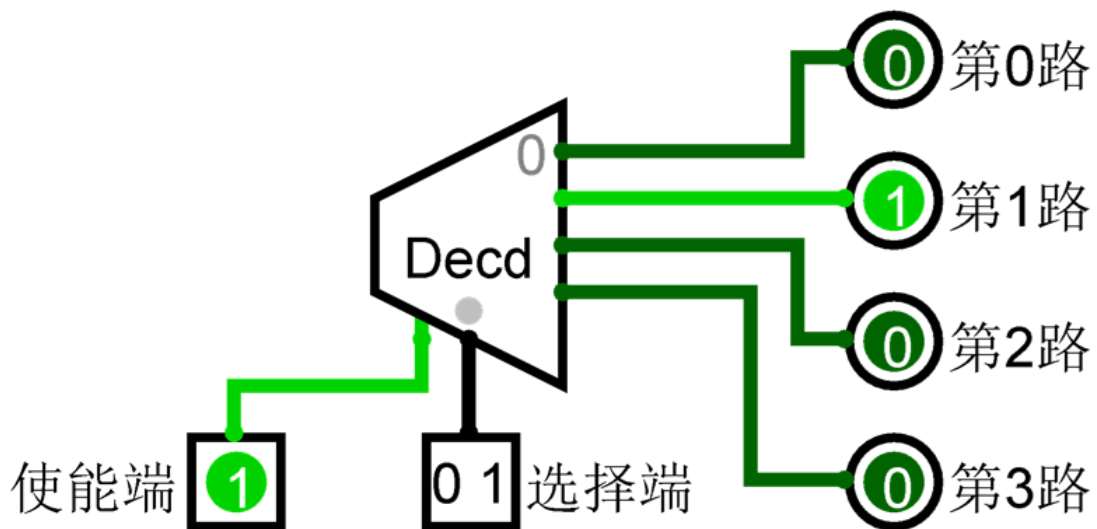
- 海明检错码 G 指定的出错位置的数据进行取反
- 借鉴深度学习中训练分类模型常用的One-Hot Encoding（独热编码）
- 先得到海明检错码 G 指定的位置掩码
 - 位置掩码（最左边为第0位）为除指定位置外，全0的二进制数
 - 如 $G = 00001$ ，则指定的位置掩码为0100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000（因为 G 有5位，可指定最多32个位置，因此位置掩码有32位）
- 将海明检错码 G 指定的位置掩码（除去第0位）与海明码逐位对应进行异或
 - 位置掩码为0的位置，对应的各位海明码不变
 - 位置掩码为1的位置，对应的海明码的那位数据取反
- $G = 00000$
 - G 指定的位置掩码为1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
 - G 指定的位置掩码的第0位可用于实现 $G = 0$ 的判断电路

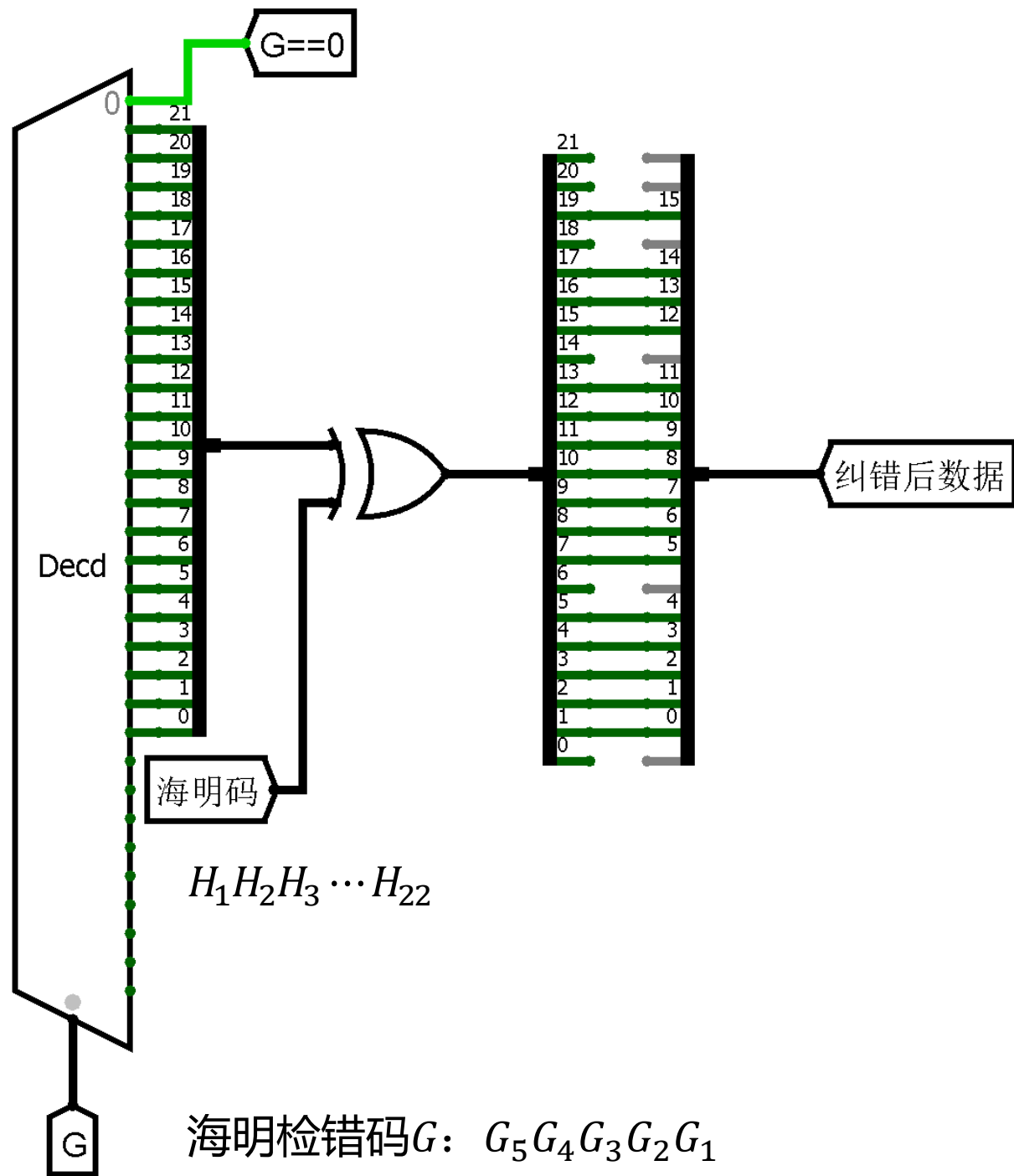
子电路2：海明解码



■ 纠错电路设计

- 先得到海明检错码 G 指定的位置掩码
 - 解码器
 - 功能：用于地址译码，将 n 位的选择端输入变为对应的位置掩码（ 2^n 位）输出





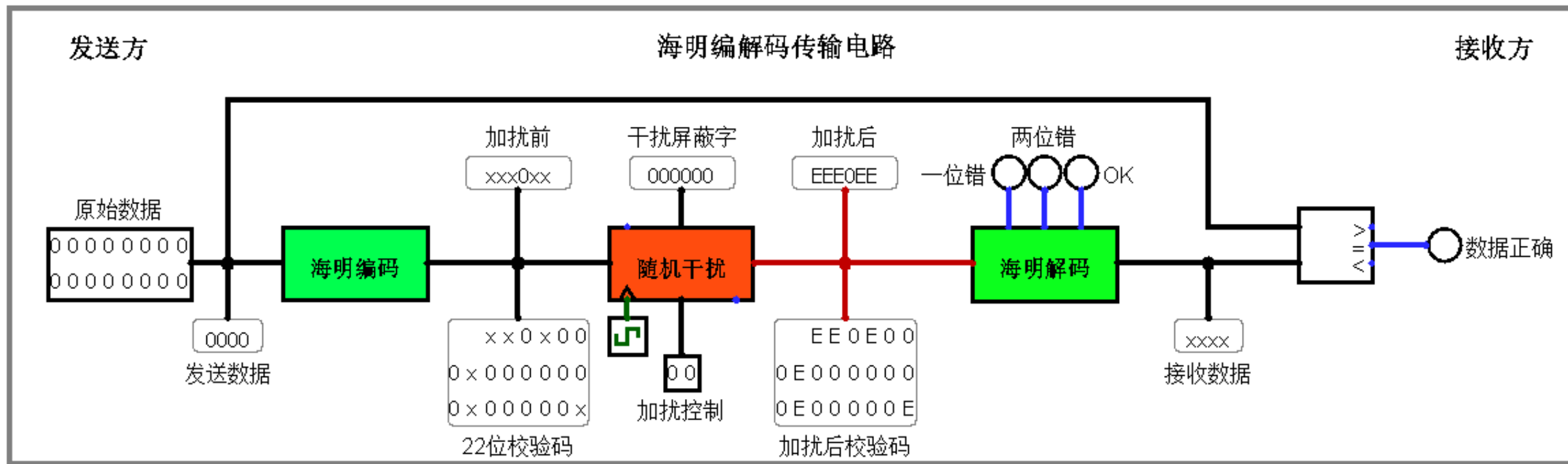
子电路2测试: 海明传输测试1



■ 测试原理

• 加扰模式

- 00: 不加扰 (数据不会产生错误)
- 01: 1位加扰 (数据产生随机的1位错)
- 10: 2位加扰 (数据产生随机的2位错)
- 11: 0-2位加扰 (数据产生随机的0-2位错)

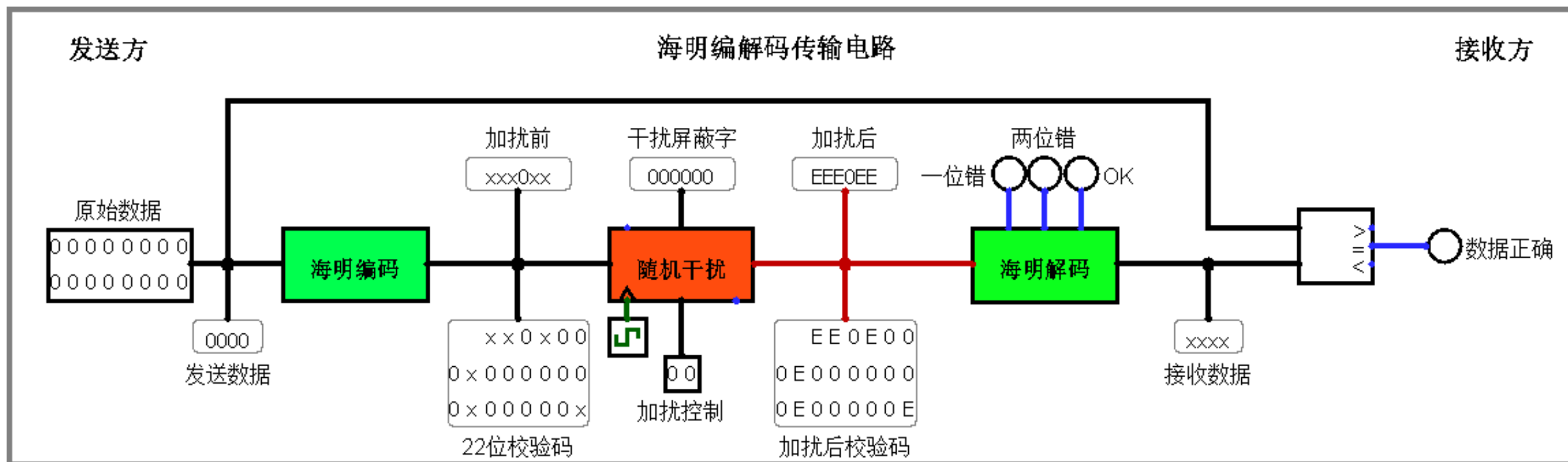


子电路2测试: 海明传输测试1



■ 测试方法

- 输入1个16位机内码
- 时钟频率2Hz, Ctrl+k, 自动测试
- 4种加扰模式下, 分别测试解码电路是否正常工作

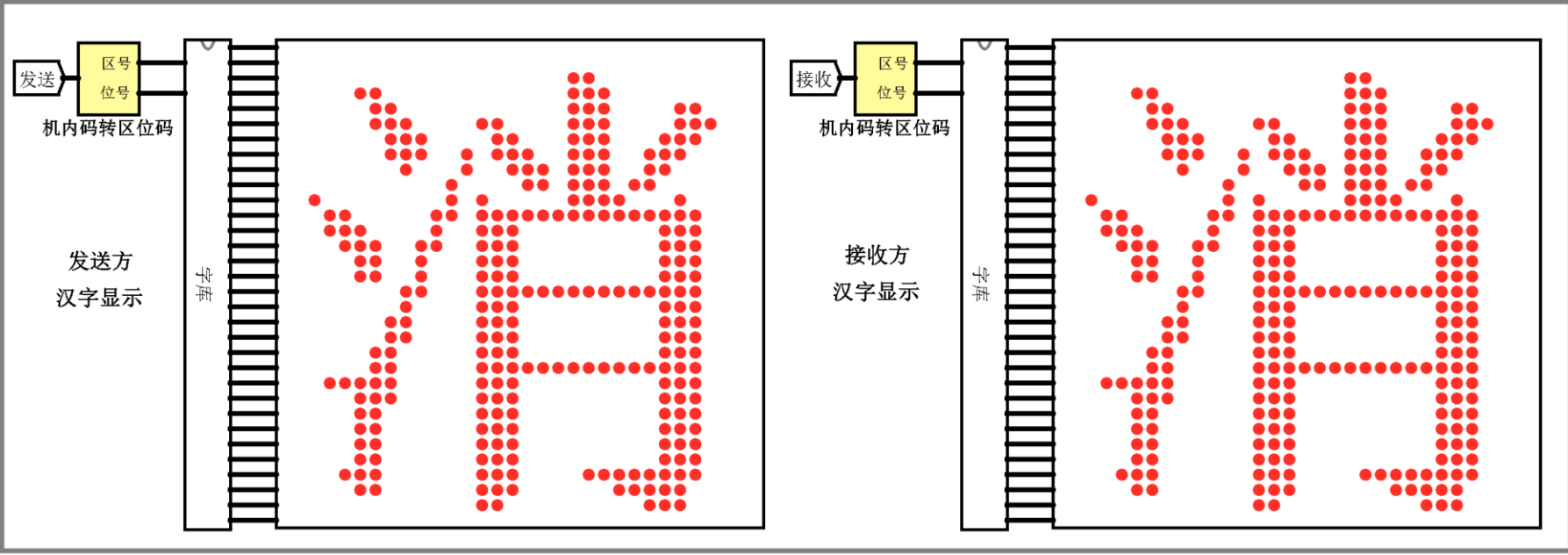
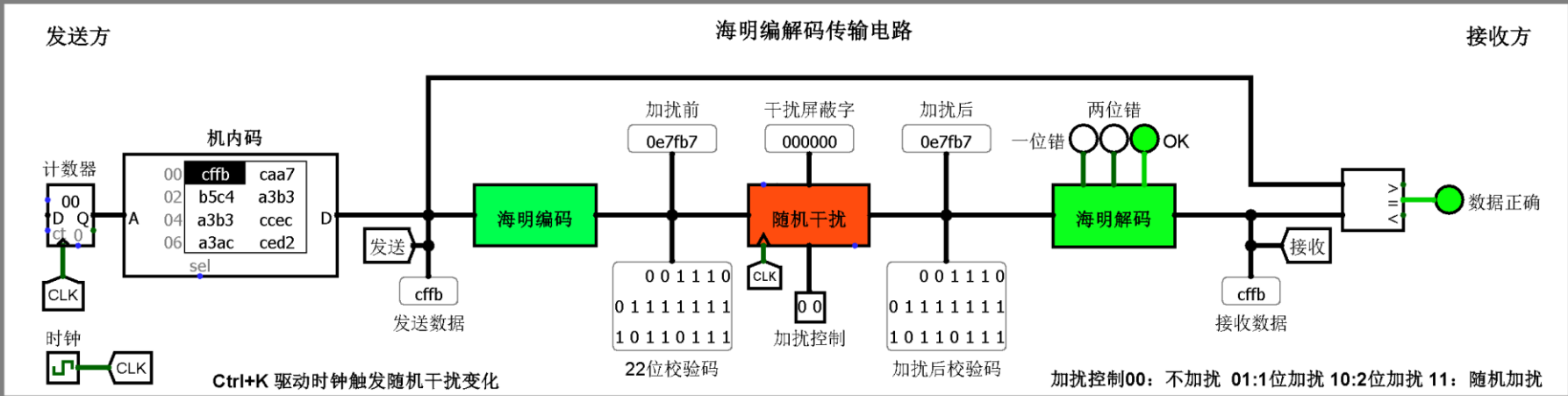


整体电路测试: 海明传输测试2



测试原理

- 需实现机内码转区位码子电路

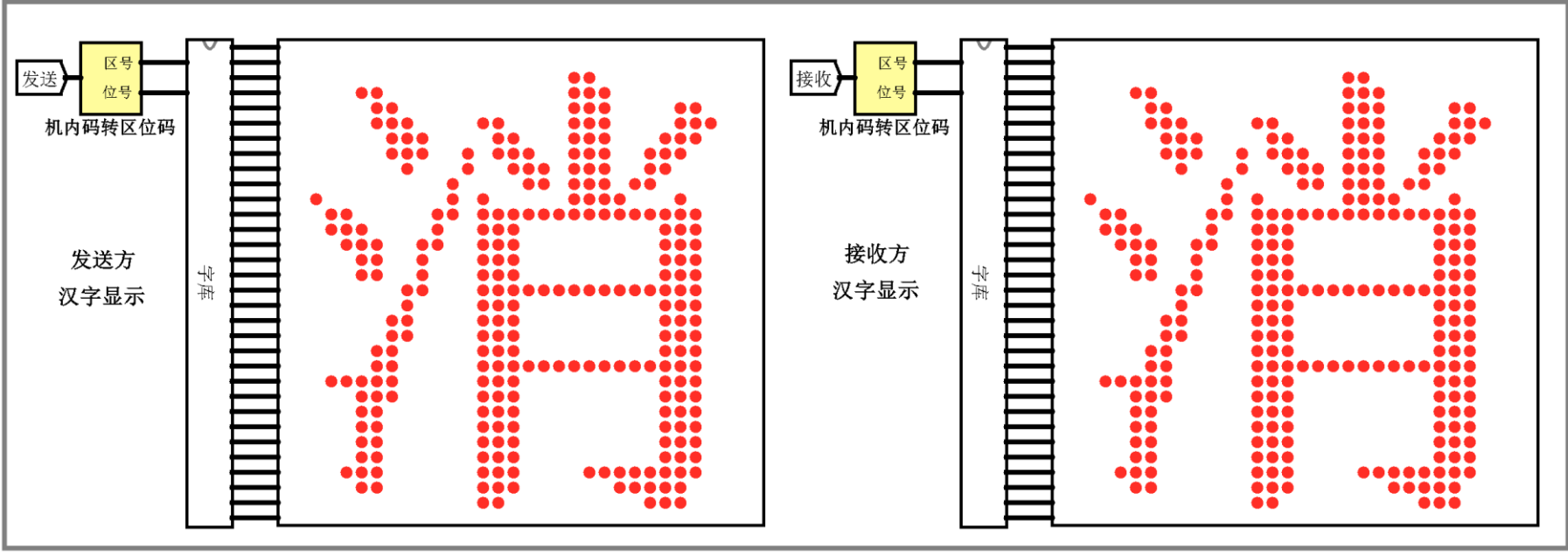
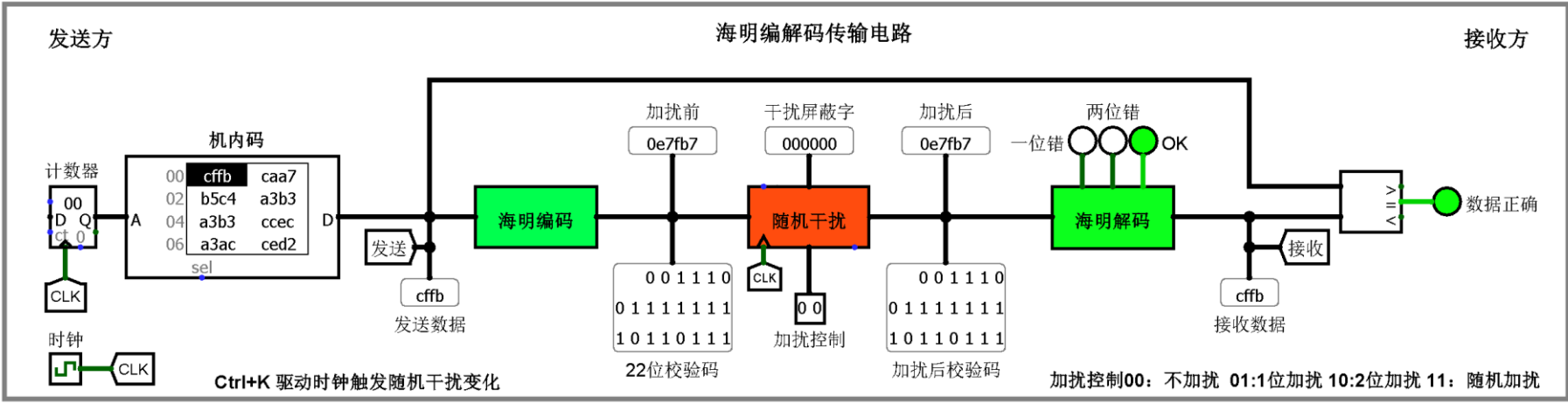


整体电路测试: 海明传输测试2



■ 测试原理

- 利用计数器不断从存储器中取出汉字的机内码
- 通过海明编码后变成22位的校验码
- 通过随机干扰模块，模拟不可靠的网络传输
- 利用海明解码电路，对被干扰的校验码进行检测，并纠正一位错
- 比较左侧发送端和右侧接收端的汉字显示是否一致

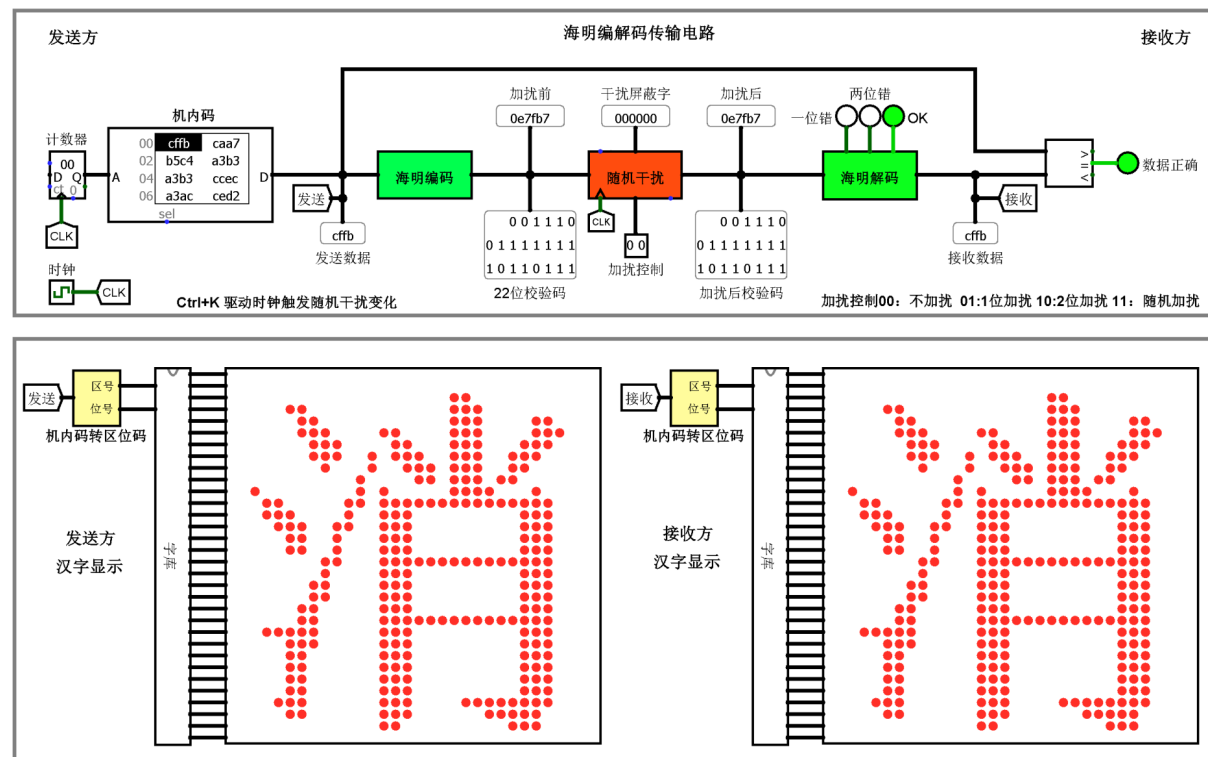


实验报告任务



■ 使用海明传输测试2进行整体电路测试

- 加扰模式
 - 01: 1位加扰 (数据产生随机的1位错)
 - 10: 2位加扰 (数据产生随机的2位错)
- 时钟频率2Hz, Ctrl+k, 自动测试
- 截图 (总共两张):
 - 上述两种加扰模式下, 分别从头开始测试时, 出现的第X个汉字/字符 (X以计数器上显示的值为准)
 - X为自己学号的最后一位





谢谢！