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

授课老师：吴炜滨

大纲

- 非数值数据的表示
  - 字符表示
  - 汉字编码
- 数据信息的校验
  - 码距与校验
  - 奇偶校验
  - 海明校验

大纲

- 非数值数据的表示
  - 字符表示

字符表示

- 非数值数据
  - 没有数值大小之分，如字符和汉字等
- 字符表示
  - 如何使用二进制代码进行字符编码?
    - ASCII-American Standard Code for Information Interchange（美国信息交换标准码）
- ASCII码
  - 使用7bit表示128个字符（2^7）：从000 0000 到 111 1111
  - 计算机中数据存储以字节为单位，故字节最高位（Most Significant Bit，MSB ）为0
  - 单字节编码

ASCII码

$b_4b_3b_2b_1$	$b_7b_6b_5$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	(Space)	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	/	l	|
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
1111	SI	US	/	?	O	-	o	DEL

- 英文字母
- 十进制数码
- 专用符号
- 控制字符

大纲

- 非数值数据的表示
  - 汉字编码

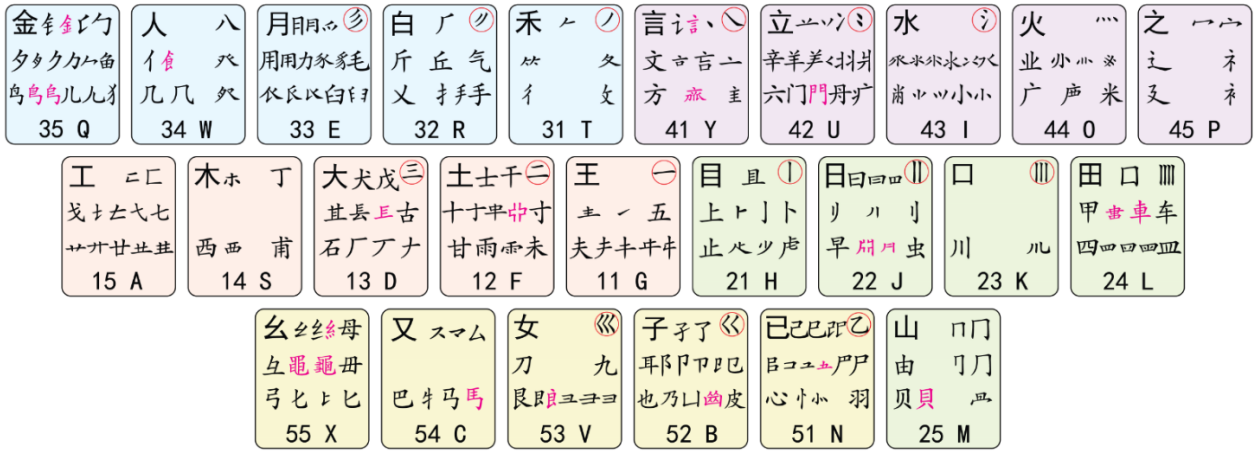
汉字编码

- 对汉字信息进行处理
  - 汉字输入 → 汉字输入码
  - 汉字交换 → 汉字交换码
  - 汉字存储、处理 → 汉字机内码
  - 汉字输出 → 汉字字形码

汉字编码

汉字输入码

- 使用英文键盘输入汉字时所使用的编码
  - 输入法：将从键盘输入的汉字输入码转化为汉字的机器内码
- 流水码：用数字组成的等长编码，如国标码、区位码
- 音码：根据汉字读音组成的编码，如拼音码，常见的有全拼、简拼等
- 形码：根据汉字的形状、结构特征组成的编码，如五笔字型码



汉字编码

- 汉字交换码
  - 不同的具有汉字处理功能的计算机系统之间在交换汉字信息时所用的代码标准：国标码

汉字表示法

- 区位码
  - 为检索方便，采用94X94=8836的二维矩阵对汉字、特殊符号、数字、英文字符、制表符等进行编码
  - 每一行称为“区”，每一列称为“位”，编号从1开始
  - 区号和位号的组合（4位10进制）构成该字的区位码
  - 中（区位码）：5448
  - 双字节编码
  - 同一英文字母、数字和符号
    - 在区位码中以两个字节表示，称之为全角字符
    - 在ASCII码中以一个字节表示，称之为半角字符，在屏幕上的显示宽度为全角字符的一半
    - A（区位码）：0333；A（ASCII码）：01000001

汉字表示法

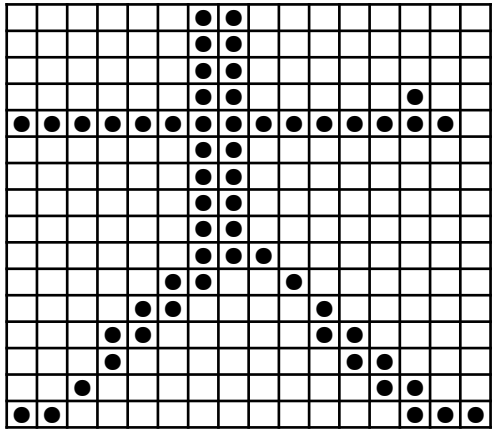
- 国标码
  - 为了复用ASCII码中的控制码（0~31）、空格字符（32）且不发生冲突
  - 将区位码的区号和位号分别加上32（20H）得到国标码：国标码=区位码+2020H
  - 中（国标码）：5650H=3630H（区位码）+2020H

汉字编码

- 汉字机内码
  - 计算机内部存储、处理汉字时所用的统一编码
  - 国标码前后字节的最高位为0，与ASCII码发生冲突
    - 中：5650H误认为V（56H）和P（50H）
  - ASCII码MSB为0，汉字机内码MSB为1
  - 汉字机内码=汉字国标码+8080H
  - 中（机内码）：D6D0H= 5650H（国标码） +8080H

汉字编码

- 汉字字形码（汉字字模）
  - 表示汉字字形信息（结构、形状、笔画等）的编码，以实现计算机对汉字的输出（显示、打印）
  - 最常用的表示方式：点阵形式和矢量形式
- 点阵形式
  - 将字符的字形分解成若干“点”组成的点阵，有字形笔画的点用黑色，反之用白色
  - 在存储时，用1表示黑色点，0表示没有笔画的白色点，顺序存储，即构成汉字字形码



汉字编码

- 点阵形式

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	十六进制码			
0							●	●									0	3	0	0
1							●	●									0	3	0	0
2							●	●									0	3	0	0
3							●	●						●			0	3	0	4
4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		F	F	F	E
5							●	●									0	3	0	0
6							●	●									0	3	0	0
7							●	●									0	3	0	0
8							●	●									0	3	0	0
9							●	●	●								0	3	8	0
10						●	●			●							0	6	4	0
11					●	●					●						0	C	2	0
12				●	●						●	●					1	8	3	0
13				●								●	●				1	0	1	8
14			●										●	●			2	0	0	C
15	●	●												●	●	●	C	0	0	7

汉字编码

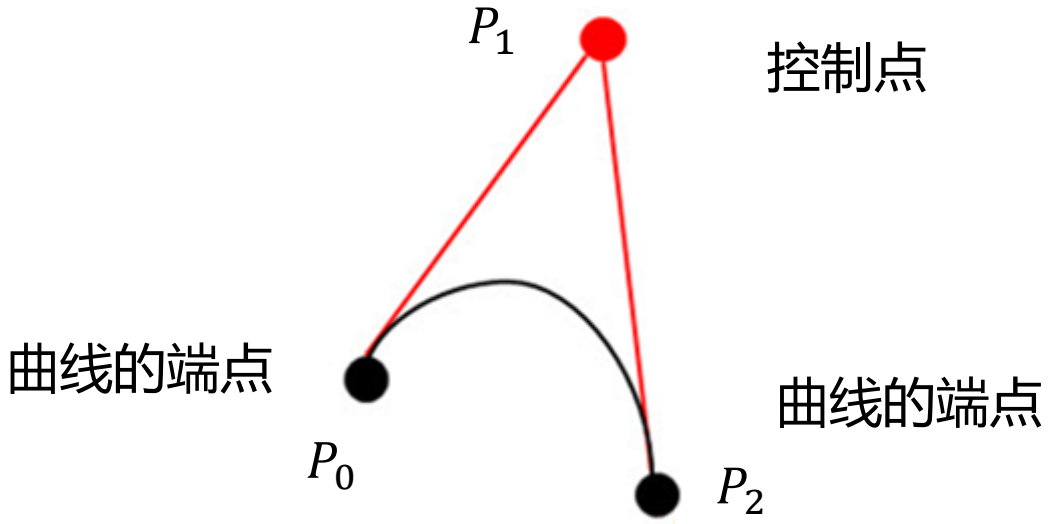
- 点阵形式
  - 占用存储空间大，以32×32为例：
    - 每个汉字要占用128个字节（1字节=8位）
  - 只用来构成汉字库，不用于机内存储， 需要时才到字库中检索汉字并输出
  - 不同字体（如黑体、微软雅黑等）对应不同的汉字库

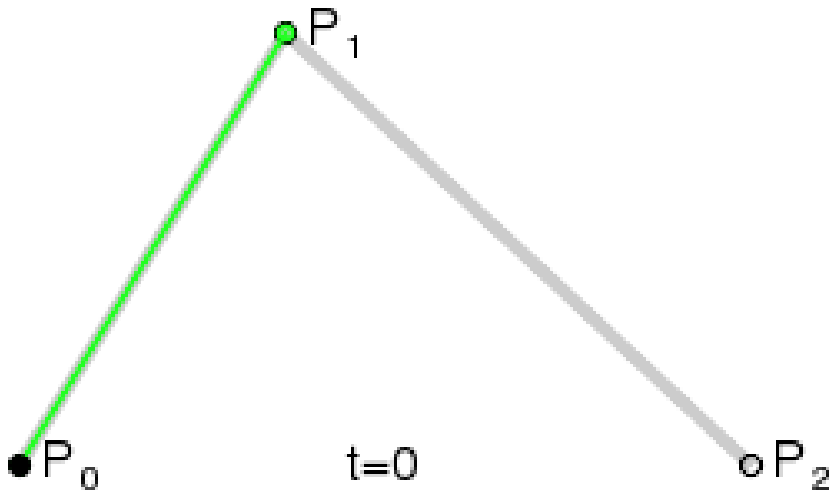
黑体 

微软雅黑 

汉字编码

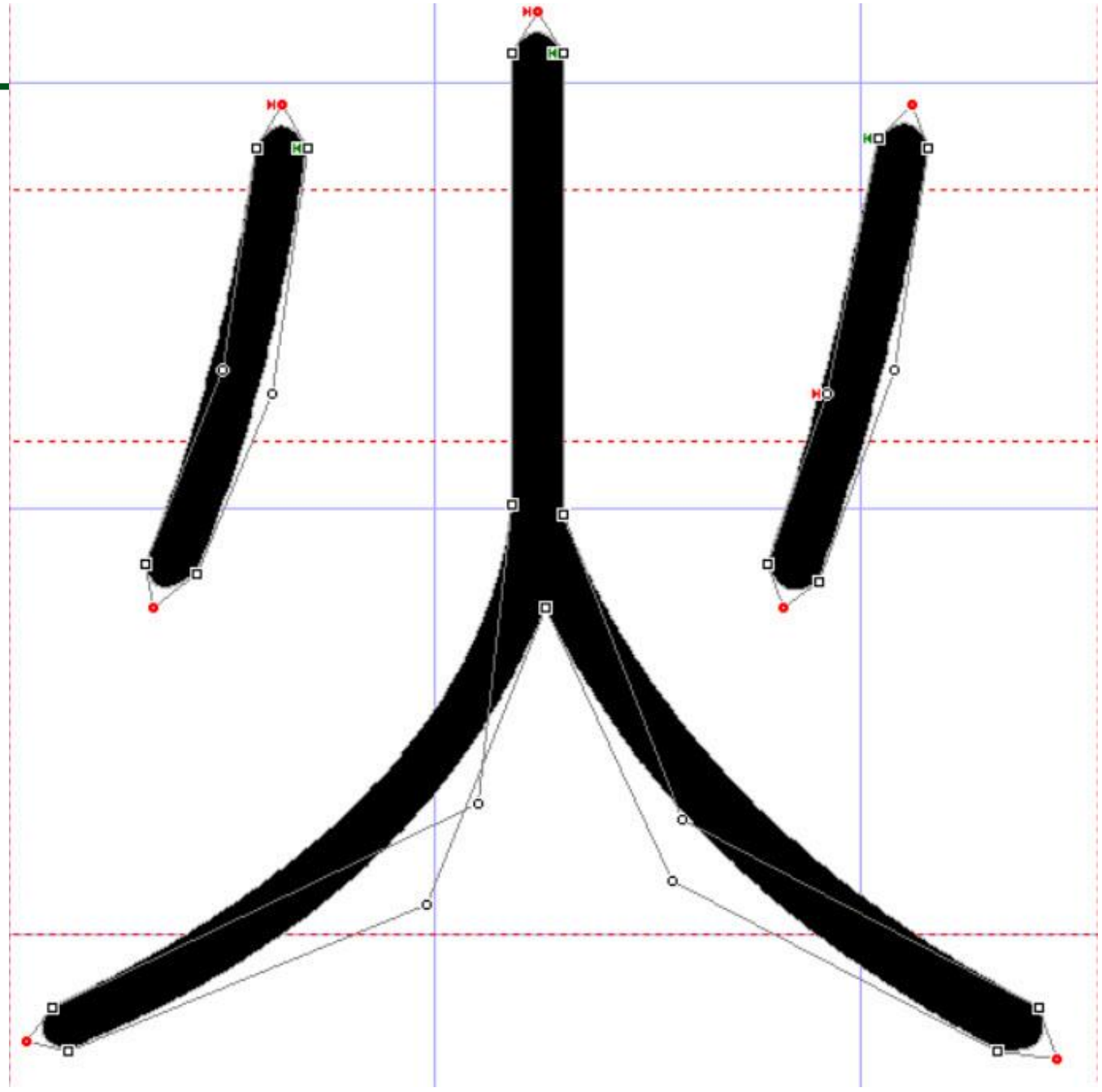
- 矢量形式
  - 通过直线、曲线来描述每一个汉字字形
    - 存储这些线的关键点
    - 利用这些点来绘制曲线或直线，描绘出字体的轮廓，最后进行黑色填充
  - 二次贝塞尔曲线





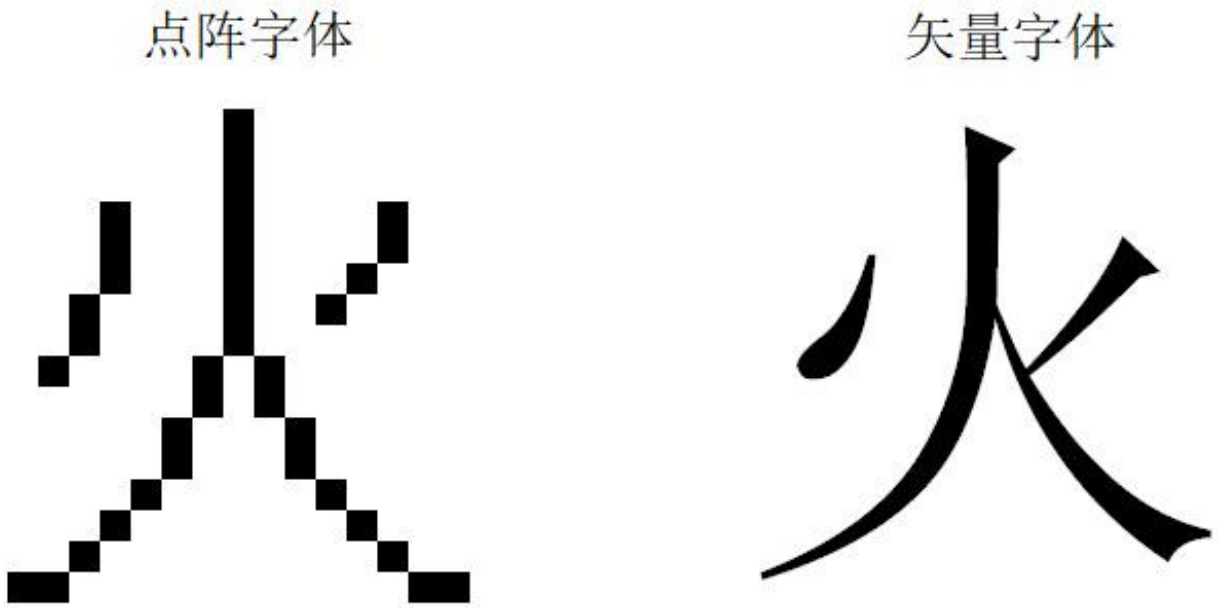
汉字编码

- 矢量形式
  - 火



汉字编码

- 矢量形式
  - 点阵形式输出的字体放大后会变形
  - 矢量形式描述的字形与最终文字显示的大小、分辨率无关，放大或缩小字体的时候，只需要按比例缩放改变端点值的相对位置，故可以输出高质量的字形



大纲

- 数据信息的校验
  - 码距与校验

码距与校验

- 数据校验的必要性
  - 受元器件的质量、电路故障或噪音干扰等因素的影响，数据在被处理、传输、存储的过程中可能出现错误
- 校验码
  - 具有发现错误或纠正错误能力的数据编码
  - 在被校验数据（原始数据）中引入部分冗余信息（校验数据），使最终的校验码（原始数据+校验数据）符合某种编码规则
  - 当校验码中某些位发生错误时，会破坏预定规则，使错误可以被检测，甚至被纠正

码距与校验

- 码距
  - 两个编码对应二进制位不同的个数
  - 10101 vs. 00110
    - 码距为3

- 最小码距
  - 同一编码系统中，任意两个合法编码之间码距的最小值

码距与校验

- 现有两种编码体系，分别分析它们各自的最小码距
  - 合法编码集合为：{000， 001， 010， 011， 100， 101， 110， 111}
    - 解：最小码距为1。任何一个合法编码发生一位错误时，就会变成另外一个合法编码，不具备检测错误的能力
  - 合法编码集合为：{000， 011，101，110}
    - 解：最小码距为2。任何一位发生改变，如000变成100，就从有效编码变成了无效编码，可以检测一位错误
    - 但发生两位错误时，可能会变成另一个合法编码，如000变成011，无法识别错误

- 增大码距能把一个不能检错的编码变成能检错的编码

码距与校验

- 校验码的工作原理
  - 编码中引入一定冗余，增加最小码距，使编码符合某种规则，当编码出现一个或多个错误时变成非法代码（不符合规则）

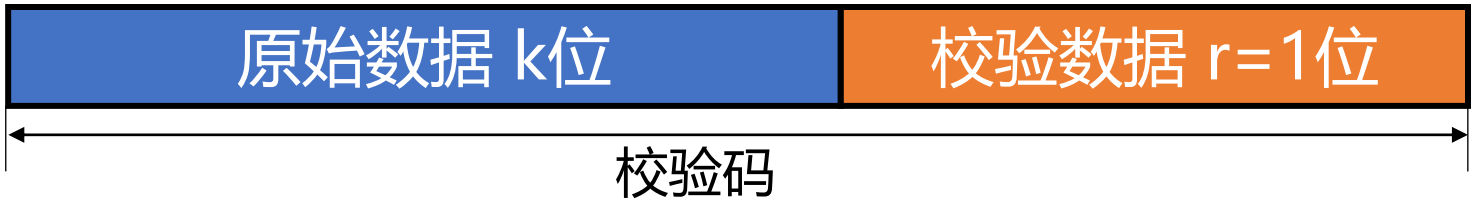
- 码距越大，抗干扰能力越强，检错、纠错能力越强
  - 数据冗余越大，编码效率低，编码电路也相对复杂
  - 选择码距应综合考虑信息出错概率和系统容错率等因素

大纲

- 数据信息的校验
  - 奇偶校验

奇偶校验

- 奇偶校验的基本原理
  - 增加冗余码（1位 校验位 P）



- 奇校验
  - 编码规则：校验码（原始数据 + 校验位）中1的个数为奇数
- 偶校验
  - 编码规则：校验码（原始数据 + 校验位）中1的个数为偶数

奇偶校验

- 奇偶校验
  - 最小码距为2

原始数据（7位）	奇校验码（8位）	偶校验码（8位）
000 0000	0000 0001	0000 0000
111 1111	1111 1110	1111 1111

- 如何使用逻辑电路自动生成奇偶校验位
  - 设原始数据$D = D_1D_2D_3 \cdots D_n$，校验位为P
  - 奇偶校验编码电路的逻辑表达式

偶校验：$P = D_1 \oplus D_2 \oplus D_3 \cdots \oplus D_n$

奇校验：$P = \overline{D_1 \oplus D_2 \oplus D_3 \cdots \oplus D_n}$

奇偶校验

奇偶校验过程

- 发送方生成 校验码（$D_1D_2\cdots D_n\,P$） 并发送
- 接收方收到发送方传输的校验码$D_1'D_2'\cdots D_n'P'$ 后，生成如下检错码G

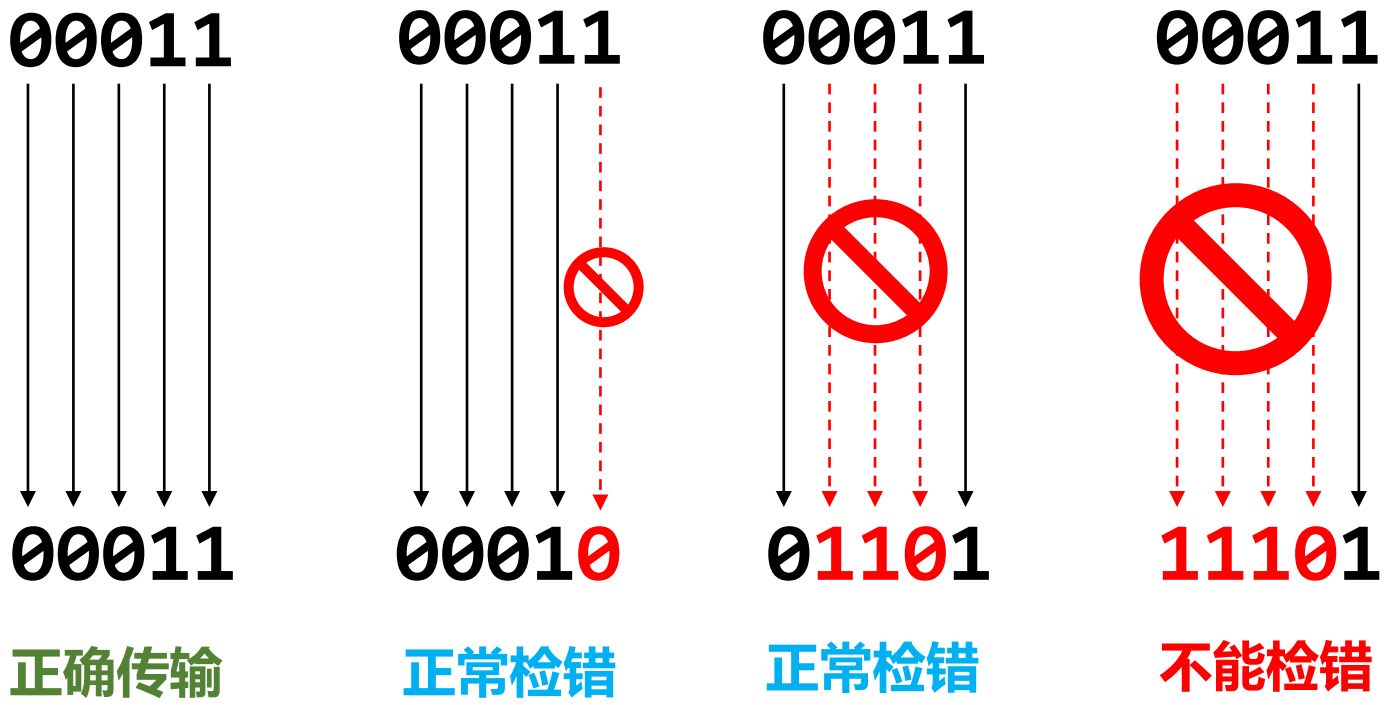
$$\text{偶校验：}\ G = P'\oplus D_1'\oplus D_2'\cdots\oplus D_n'$$

$$\text{奇校验：}\ G = \overline{P'\oplus D_1'\oplus D_2'\cdots\oplus D_n'}$$

- G=1
  - 数据**一定**出错
- G=0
  - **较大概率**正常

奇偶校验

- 奇偶校验性能
  - 假设数据采用偶校验



只能检测奇数错，不能纠错，不保证正确，实现简单，编码效率高

大纲

- 数据信息的校验
  - 海明校验

海明校验

- 海明码具有一位纠错能力
- 海明码采用奇偶校验
  - 偶校验
    - 00100011 → 001000111

校验位

无法定位出错位置

- 海明码采用分组校验
  - 分组校验：00100011 → 00101001110（偶校验）

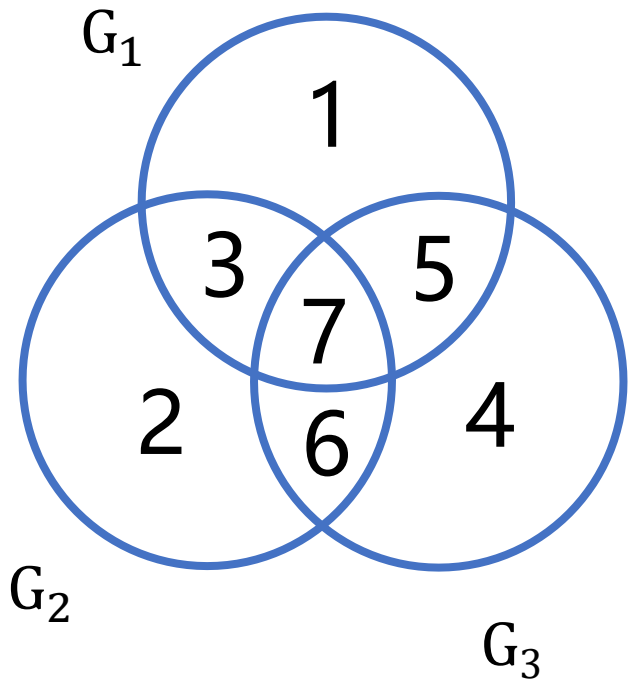
校验位

- 海明码的分组是一种非划分方式
  - 数据分组之间是有交叉的：有些位是属于多个组

海明校验

1	2	3	4	5	6	7

- 海明码如何分组?
  - 分成3组，每组有1位校验位，共包括4位数据位



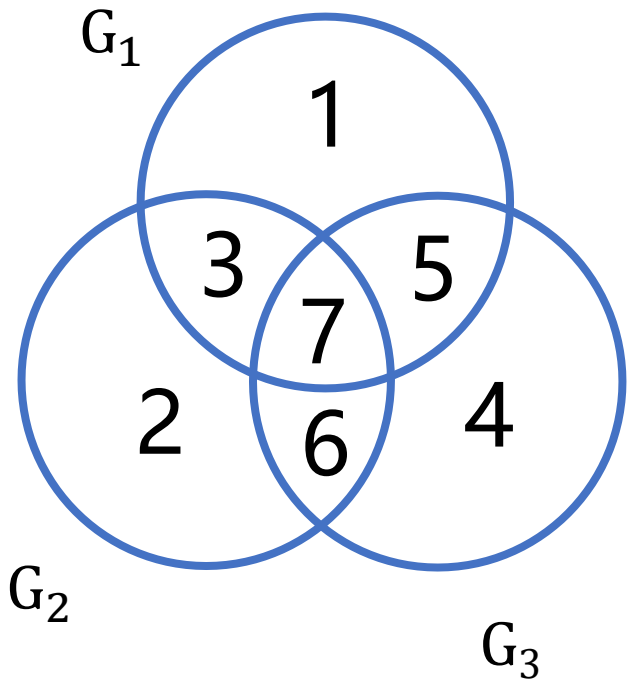
- 假定最多只有一位错，检错时生成$G_3G_2G_1$（检错码）

$G_3G_2G_1$	出错位
0 0 0	无差错
0 0 1	1
1 0 1	5
1 1 0	6
1 1 1	7

好处：检错码指出了出错的位置

海明校验

- 海明码如何编码?
  - 应该增添多少位校验位?
  - 校验位应该放在哪些位置?
  - 数据位应该如何分组?
  - 校验位的取值?



海明校验

- 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$H_1 H_2 \cdots H_n$共n位，原始数据$D_1 D_2 \cdots D_k$共k位，校验位$P_1 P_2 \cdots P_r$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

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

海明校验

- 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 → 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 → 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				√			

海明校验

- 海明码数据位如何分组?
  - 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
  - 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				√	√	√	√

海明校验

- 海明码数据位如何分组?
  - H_j位的数据被编号小于j的若干个海明位号之和等于j的校验位所校验

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				√	√	√	√

海明校验

- 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

偶校验: $P_1 = H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 \cdots$

奇校验: $P_1 = \overline{H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 \cdots}$

练习

- 按配偶原则配置 0011 的海明码

解：　　$\because\ k = 4$

根据$2^r \geq r + k + 1$

得 $r = 3$

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							
值							

练习

- 按配偶原则配置 0011 的海明码

解：

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
值	1	0	0	0	0	1	1

$$P_1 = H_3 \oplus H_5 \oplus H_7 = 1$$

$$P_2 = H_3 \oplus H_6 \oplus H_7 = 0$$

$$P_3 = H_5 \oplus H_6 \oplus H_7 = 0$$

$\therefore$ 0011 的海明码为 1000011

练习

- 求 0101 按 “偶校验” 配置的海明码

解: $\because k = 4$

根据$2^r \geq r + k + 1$

得 $r = 3$

海明码排序如下:

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
校验值	0	1	0	0	1	0	1

$\therefore$ 0101 的海明码为 0100101

海明码的检错、纠错过程

- 约定好编码规则
  - 一位纠错海明码，奇/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$P_1P_2\cdots P_r$共r位，检错码$G_r\cdots G_2G_1$也共r位
  - 发送方发送数据位为$D_1D_2\cdots D_k$，校验位为$P_1P_2\cdots P_r$
  - 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'

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

举例

- 已知接收到的海明码为 0100111（按配偶原则配置），试问要求传送的信息是什么?

解:

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'
值	0	1	0	0	1	1	1

$G_1 = H_1' \oplus H_3' \oplus H_5' \oplus H_7' = 0$　　无错

$G_2 = H_2' \oplus H_3' \oplus H_6' \oplus H_7' = 1$　　有错

$G_3 = H_4' \oplus H_5' \oplus H_6' \oplus H_7' = 1$　　有错

$\therefore \quad G_3G_2G_1 = 110$

第 6 位出错，可纠正为 0100101，故要求传送的信息为 0101

练习

- 写出按偶校验配置的海明码0101101 的纠错过程

解：

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'
值	0	1	0	1	1	0	1

$$G_1 = H_1' \oplus H_3' \oplus H_5' \oplus H_7' = 0$$

$$G_2 = H_2' \oplus H_3' \oplus H_6' \oplus H_7' = 0$$

$$G_3 = H_4' \oplus H_5' \oplus H_6' \oplus H_7' = 1$$

$$\therefore \quad G_3 G_2 G_1 = 100$$

第 4 位出错，为校验位，不参与运算，故一般情况下可以不纠正

练习

- 按配奇原则配置 0011 的海明码

解：　　$\because\ k = 4$

根据$2^r \geq r + k + 1$

得 $r = 3$

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							
值							

练习

- 按配奇原则配置 0011 的海明码

解：

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
值	0	1	0	1	0	1	1

$$P_1 = \overline{H_3 \oplus H_5 \oplus H_7} = 0$$

$$P_2 = \overline{H_3 \oplus H_6 \oplus H_7} = 1$$

$$P_3 = \overline{H_5 \oplus H_6 \oplus H_7} = 1$$

纠错过程同样采用奇校验产生检错码

$\therefore$ 0011 的海明码为 0101011

谢谢！