

基于C语言的QR二维码生成 算法的研讨

报告人：王嵩超

QR二维码

- 在今天的信息获取，安全验证，手机支付等方面有着广泛的应用。
- 高密度编码，信息容量大，容错能力强的新一代条码，能存储多种形式的数据类型（数字、ASCII码、二进制码、中国汉字、日本汉字等等）。
- 具有一维条码所没有的**定位点**和**纠错码字**，从而使扫码设备未与二维码对齐、二维码部分缺损的情况下能够解码。

研究进展

- 通过寒假的钻研，我们已经掌握了从原始数据到生成**QR**二维码的全部流程和各流程的实现方法，并基于**C**语言做出了依据一串数字生成纠错等级为**H**的二维码的程序。

效果图



程序介绍

- 程序在Code::Blocks 13.12集成开发环境完成开发。
- 大小：119KB
- 源文件分为一个主程序文件main.c和头文件definition.h。
- main.c中包含所有的函数，definition.h中包含各种定义与常量数据。
- 为了能够显示QR码的图形，程序使用了allegro图形库。

程序展示

- 经过反复的调试，程序具有相当的稳定性，可完成对**468**个数字的编码

打开程序

兼容性测试

几款主流二维码扫码APP的测试结果：

APP	扫描结果
二维码扫描（小米手机自带）	通过
微信	通过
QQ	通过
我查查	通过
快拍二维码	通过

实验：测试二维码的可读性



将左侧遮挡，是否仍可扫描？

实验：测试二维码的可读性



将左侧遮挡，是否仍可扫描？

增大遮挡面积，是否仍可扫描？

实验：测试二维码的可读性



将左侧遮挡，是否仍可扫描？

增大遮挡面积，是否仍可扫描？

继续增大遮挡面积，是否仍可扫描？

实验：测试二维码的可读性



将左侧遮挡，是否仍可扫描？

增大遮挡面积，是否仍可扫描？

继续增大遮挡面积，是否仍可扫描？

遮挡特定部位，是否仍可扫描？

实验：测试二维码的可读性

结论：

- QR二维码的数据存在纠错机制
- 二维码有些图案对扫描有着不可或缺的作用

定义

位置探测图形
(寻像图形)

定位图形

校正图形

版本信息



版本信息

数据和纠错码字

编码步骤（数字串到二进制码字）

i. 确定二维码的版本号

计算出这串数字所需的编码模块数

98765432101的版本号为1。

依据：
$$N_{\text{编码}} = l^2 - N_{\text{功能图形}} - N_{\text{格式信息与版本信}}$$

版本变化



原文: test1



原文: test2test2test2test2test2test2test2test2

版本变化的演示:

打开程序

编码步骤（数字串到二进制码字）

ii. 确定模式指示符，数字的模式指示符为0001

模式名称	模式指示符
数字	0001
字母数字	0010
8位字节（ASCII码）	0100
中国汉字	1101

编码步骤（数字串到二进制码字）

iii. 根据字符长度确定字符计数指示符。

“98765432101” 长度为11；

转换为二进制，并在最左端添0至长度为10，得到：0000001011

版本	数字模式	8位字节（ASCII码） 模式
1~9	10	9
10~26	12	11
27-40	14	13

编码步骤（数字串到二进制码字）

iv.对数字进行分组，每三位数字为一组，分别转换成二进制，并在最左端添0至长度为10：

987→1111011011

654→1010001110

321→0101000001

01→0000001

（若剩余2位，则转换为7位二进制数；若剩余1位，则转换成4位二进制数）

编码步骤（数字串到二进制码字）

- v. 将上面得到的模式指示符、字符计数指示符、多个10位二进制数、7位或4位二进制数连接，在末尾加上终止符0000，得到位流：

0001 0000001011 1111011011 1010001110
0101000001 0000001 0000

编码步骤（数字串到二进制码字）

vi. 将位流按8位为一组组成码字，最后一组码字在右端补零以填满8位：

00010000,00101111,11011011,10100011,10010100,00010000,00100000共得到7个数据码字

vii. 根据规定，（1，H）QR码数字类型的数据码字数为9、纠错码字数为17（见参考资料i），故还要补充2个填充码字：

11101100,00010001。（填充码字按这两个规定的码字交替地填充下去）

编码步骤（数字串到二进制码字）

vi. 将位流按8位为一组组成码字，最后一组码字在右端补零以填满8位：

00010000,00101111,11011011,10100011,10010100,00010000,00100000共得到7个数据码字

vii. 根据规定，（1，H）QR码数字类型的数据码字数为9、纠错码字数为17（见参考资料i），故还要补充2个填充码字：

11101100,00010001。（填充码字按这两个规定的码字交替地填充下去）

编码步骤（纠错编码）

纠错：为数据提供冗余，提高识别率

- 采用**RS**码进行编码，在原数据码字后加一段特定长度的纠错码字
- n 表示总码长， k 表示数据码字长度。 $n-k$ 即为纠错码字长度，它直接关系着纠错强度
- 当纠错等级，二维码版本均已给定时， n 、 k 在《标准》中均有合理的规定，以达到相应的纠错强度

编码步骤（纠错编码）

viii. 数据码字分块

NOTE: 一个码字 \leftrightarrow 一个二进制数 \leftrightarrow 一个十进制数

- 目的：对数据码字进行适当的分组，使每组长度与前述的k值相符
- 每种分法中，最多有两种不同类型的块（见《标准》）
- 对于本例，块数为1

编码步骤（纠错编码）

ix. 生成纠错码字

七个数据码字分别用十进制数表示为：

16 47 219 163 148 16 32 236 17

解出其对应的17个纠错码字：

243 150 95 32 240 168 147 52 3 188 59 184 7
98 7 189 24

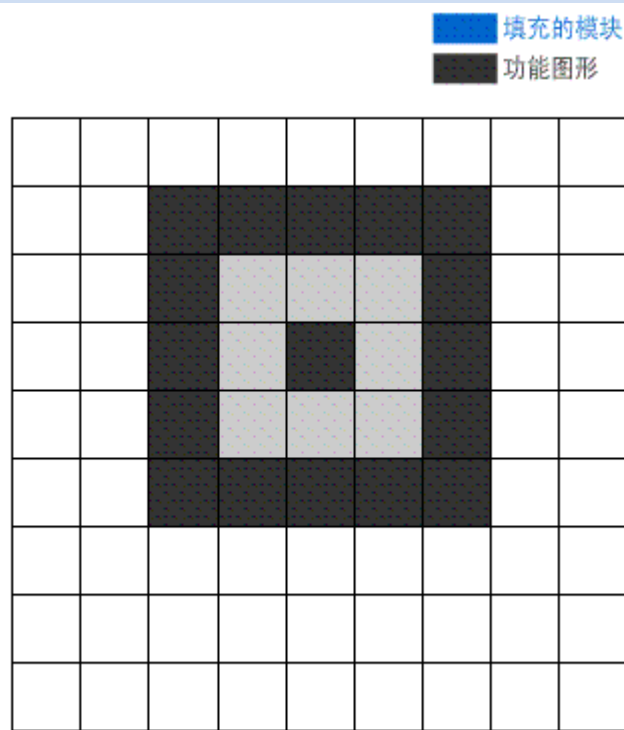
编码步骤（所有码字的排列顺序）

版本9、纠错等级H（100个数据码字）的各码字块结构如下表所示：

块序号	块类型(n,k)	块的内容							
1	36,12	D1	D2	...	D12		E1	...	E24
2	36,12	D13	D14	...	D24		E1	...	E24
3	36,12	D25	D26	...	D36		E1	...	E24
4	36,12	D37	D38	...	D48		E1	...	E24
5	37,13	D49	D50	...	D61	D13	E1	...	E24
6	37,13	D62	D63	...	D74	D13	E1	...	E24
7	37,13	D75	D76	...	D87	D13	E1	...	E24
8	37,13	D88	D89	...	D100	D13	E1	...	E24

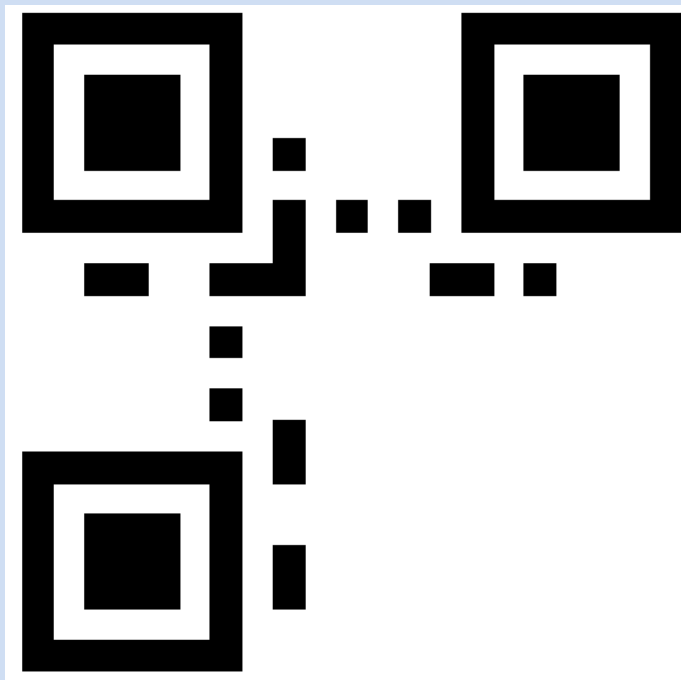
编码步骤（码字在图形中的排布）

- 先排所有的数据码字，再排所有的纠错码字，顺序如上所述
- 从右下角开始，按动画所示的规则排列，跳过功能图形所在的方块

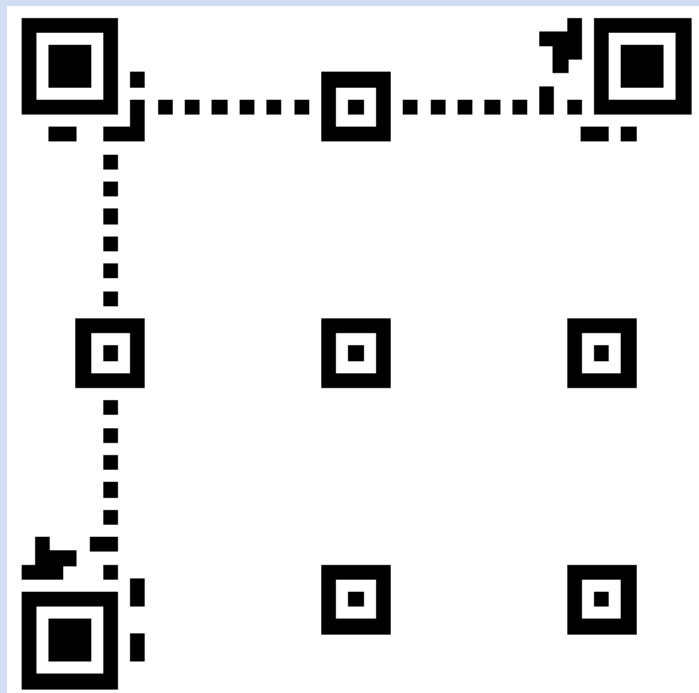


二维码绘制（添加功能图形）

包括寻像图形，定位图形，校正图形，格式信息，版本信息

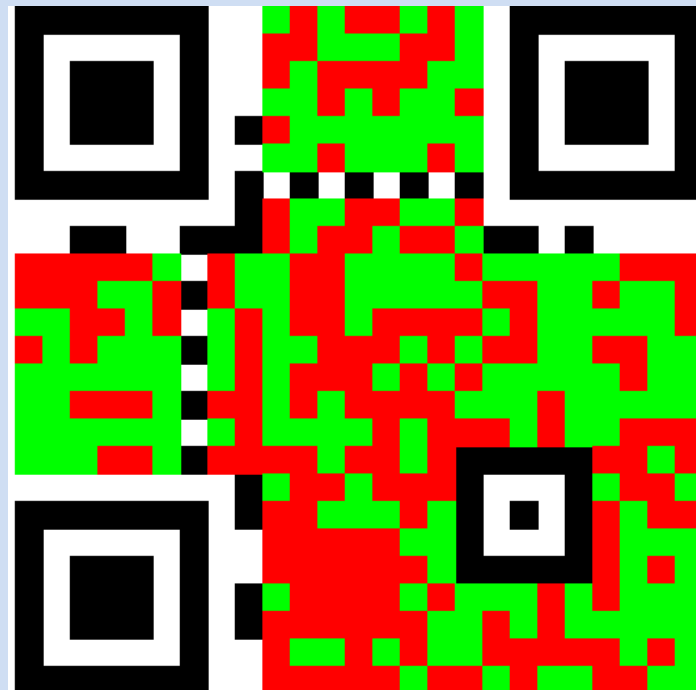
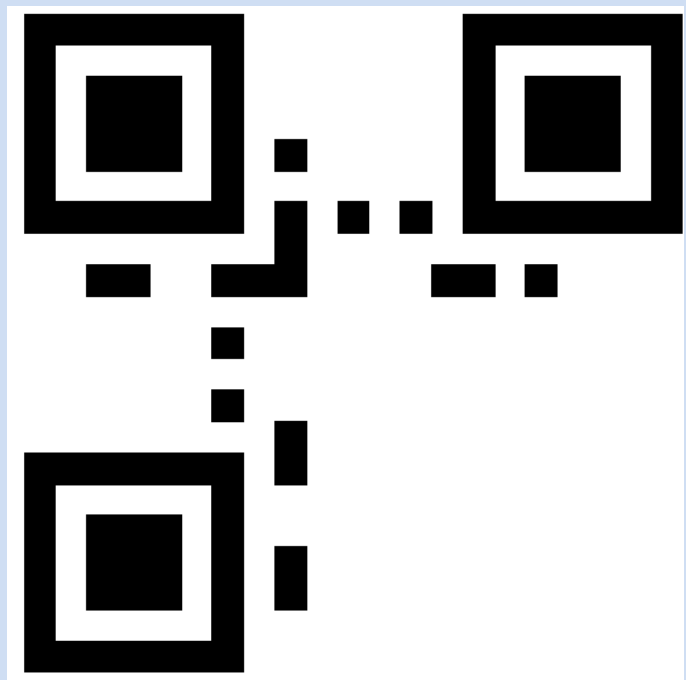


版本1



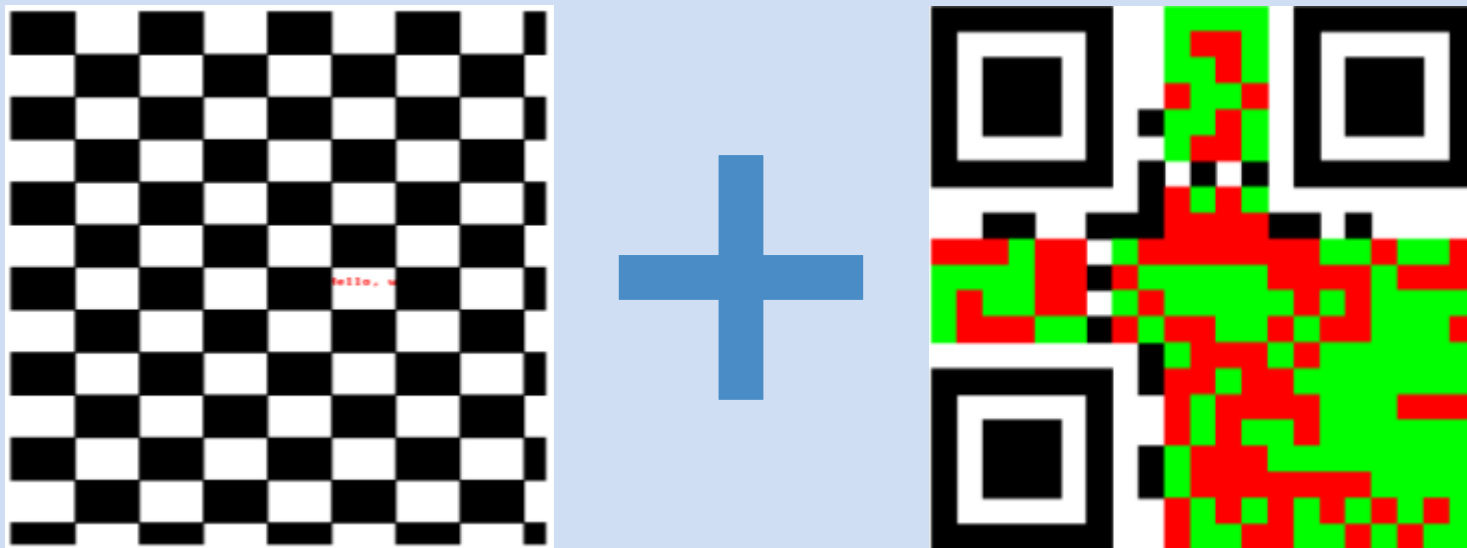
版本8（出现了版本信息）

二维码绘制（添加数据码字）



二维码绘制（掩膜的叠加）

掩膜只作用于数据区域，将数据区域的图案改变方法：采用异或算法，将预设的掩膜图形与数据区域的图形叠加。



二维码绘制（掩膜的叠加）

掩膜的目的：

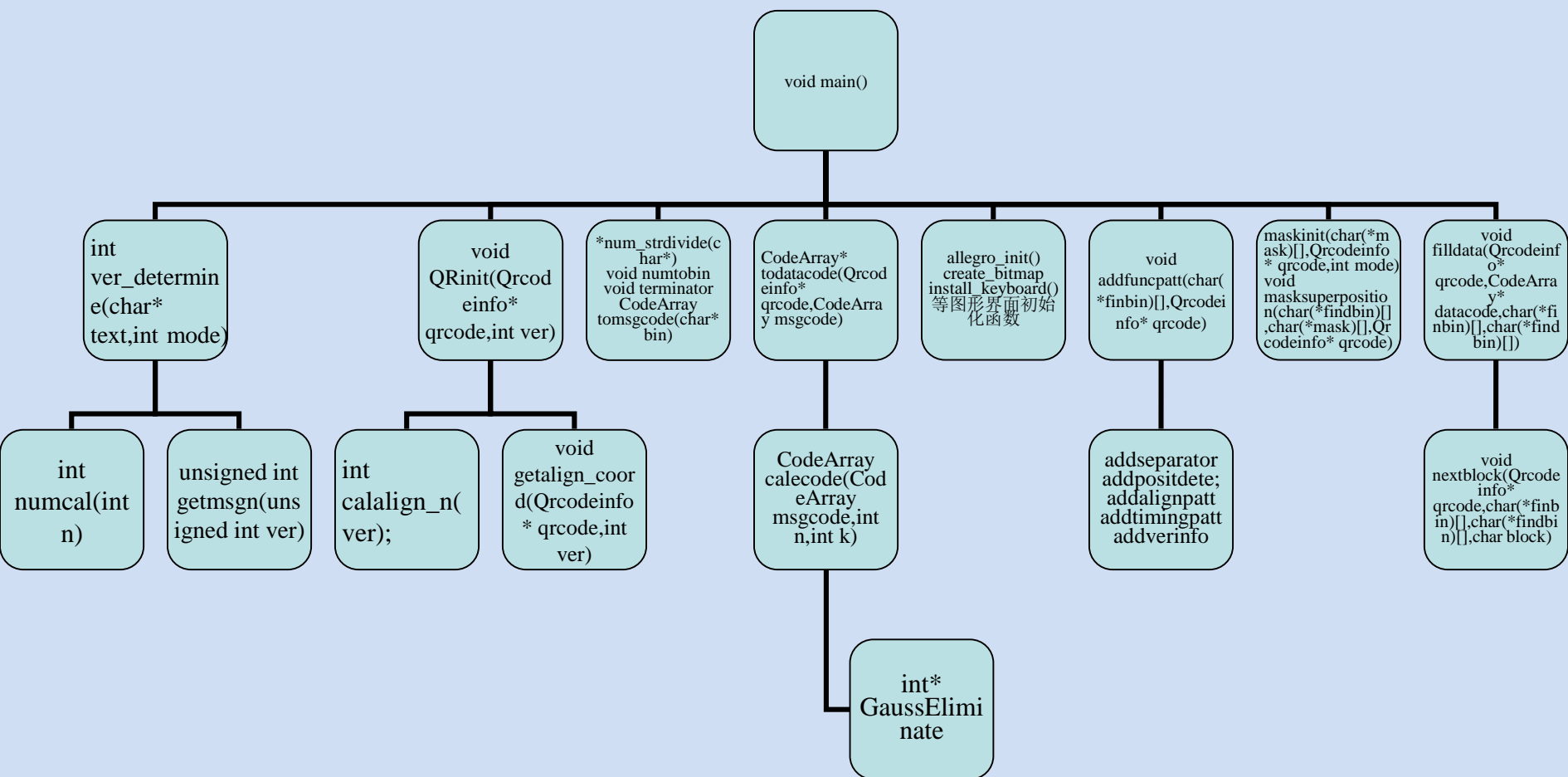
1. 避免寻像图形等功能图形的图案出现在图形的数据区域，影响识别（尽管概率极小）
2. 避免大面积的黑色或白色方块聚集在一起，影响识别
3. 使黑色与白色方块比例适中

全过程演示

在原程序中增加断点，以展示各个步骤

打开程序

程序结构图



程序中的数据结构

- 位流：char[] 字符数组 元素仅有'0'、'1'，下同
- 单个码字：char[9] 字符数组
- 码字序列：char[][9] 字符二维数组
- (程序中自定义char(*)[9]为CodeArray)
- 用于显示图像的方阵：
- char[len][len] 字符二维数组
- 元素：'0'表白色 '1'表黑色 0表未填充

给定版本号的二维码各参数关系推导

设QR码的版本为 v ，边长为 l

$$l=17+4v$$

$$N_{\text{功能}} = 3 \times 8 \times 8 + N_{\text{校正}} \times 5 \times 5 + 2 \times (l - 2 \times 8 - 5 \times (\sqrt{N_{\text{校正}}} + 3 - 2))$$

$$= 180 + 25N_{\text{校正}} + 2l - 10\sqrt{N_{\text{校正}}} + 3$$

$$N_{\text{编码}} = l^2 - N_{\text{功能图形}} - N_{\text{格式信息与版本信}}$$



给定版本号的二维码各参数关系推导

$$N_{\text{格式信息与版本信息}} = 2 \times 15 + 1 = 31$$

若 $v > 6$:

$$N_{\text{格式信息与版本信息}} = 31 + 18 \times 2 = 67$$

```
if (ver > MAXVERSION)
    {printf("版本超出限制! 目前仅支持前14个版本\n"); return;}
qrcode->length = 17 + 4 * ver;
qrcode->align_n = calalign_n(ver);
getalign_coord(qrcode, ver);
if (ver == 1) qrcode->funcn = 202;
else qrcode->funcn = 180 + 25 * qrcode->align_n + 2 * qrcode->length - 10 * sqrt(3 + qrcode->align_n);
qrcode->formatn = ver <= 6 ? 31 : 67;
qrcode->datan = qrcode->length * qrcode->length - qrcode->funcn - qrcode->formatn;
qrcode->coden = qrcode->datan / 8;
```

纠错码计算算法介绍

- 从原理上，计算纠错码字是一个解多元一次线性方程组的过程
- 计算在伽罗华域（**Galois Field**）进行，而不是实数域

伽罗华域

- 域中元素个数有限。QR二维码: $GF(2^8)$
- 元素的表示:
 - 1.数字表示: $0, 1, 2, 3, \dots, 255$
 - 2.符号表示: $0, \alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{254}$
 - 3.二进制表示:
 - 00000000, 00000001, 00000010,
 - 00000011, ..., 11111111

伽罗华域（三种符号的对应关系）

本原多项式： $P(\alpha) = \alpha^8 + \alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + 1$

α 的幂表示	对应的多项式	二进制表示	十进制表示
0	0	00000000	0
$\alpha^0=1$	1	00000001	1
α^1	α^1	00000010	2
α^2	α^2	00000100	4
α^3	α^3	00001000	8
α^4	α^4	00010000	16
α^5	α^5	00100000	32
α^6	α^6	01000000	64
α^7	α^7	10000000	128

伽罗华域（三种符号的对应关系）

本原多项式： $P(\alpha) = \alpha^8 + \alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + 1$

α 的幂表示	对应的多项式	二进制表示	十进制表示
α^8	$\alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + 1$	00011101	29
α^9	$\alpha^5 + \alpha^4 + \alpha^3 + \alpha$	00111010	58
α^{10}	$\alpha^6 + \alpha^5 + \alpha^4 + \alpha^2$	01110100	116
α^{11}	$\alpha^7 + \alpha^6 + \alpha^5 + \alpha^3$	11101000	232
...
α^{254}	α^7	10000000	128

伽罗华域（运算规则）

定义有加法，乘法，除法（无减法）

- 加法：符号 a, b 为元素的数字表示

$a + b = a \wedge b$ 即加法采用异或运算

- 乘法： $a \times b = \alpha^i \times \alpha^j = \alpha^{i+j}$

- a, b : 伽罗华域元素

- i, j : 整数域元素

获得本原元 α 的 i 次幂对应的数值

```
In[3]:= P[x_] = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1

alphato[n_] := (poly = PolynomialRemainder[x^n, P[x], x];
  l = Length[CoefficientList[poly, x, Modulus -> 2]];
  Sum[Part[CoefficientList[poly, x, Modulus -> 2], i] * 2^(i-1),
    {i, 1, l}])

Do[Print[{n, alphato[n]}], {n, 0, 256}]
```

```
Out[3]= 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8
```

```
{0, 1}
{1, 2}
{2, 4}
{3, 8}
{4, 16}
{5, 32}
{6, 64}
{7, 128}
```

数组的第一项是 α 的幂数，第二项是数值

获得每一数值对应的本原元 α 的幂数

```
{239, 22}, {240, 44}, {241, 88},  
{242, 176}, {243, 125},  
{244, 250}, {245, 233},  
{246, 207}, {247, 131},  
{248, 27}, {249, 54}, {250, 108},  
{251, 216}, {252, 173},  
{253, 71}, {254, 142}}
```

数组的第一项是 α 的幂数，第二项是数值

Sort实现了按第二个元素升序排列的功能

```
Sort[%, #1[[2]] < #2[[2]] &]
```

```
{{0, 1}, {1, 2}, {25, 3},  
 {2, 4}, {50, 5}, {26, 6},  
 {198, 7}, {3, 8}, {223, 9},  
 {51, 10}, {238, 11}, {27, 12},  
 {104, 13}, {199, 14}, {75, 15},  
 {4, 16}, {100, 17}, {224, 18},  
 {11, 19}, {50, 20}, {141, 21}}
```

源代码中数组的构造

```
    unsigned int msgn;           //信息模块数（无纠错）
    unsigned int msgcode;        //信息码字数（无纠错）
    struct ecode ecodata;        //纠错特性
    char** p;                    //指向二进制矩阵的指针
} Qrcodeinfo;

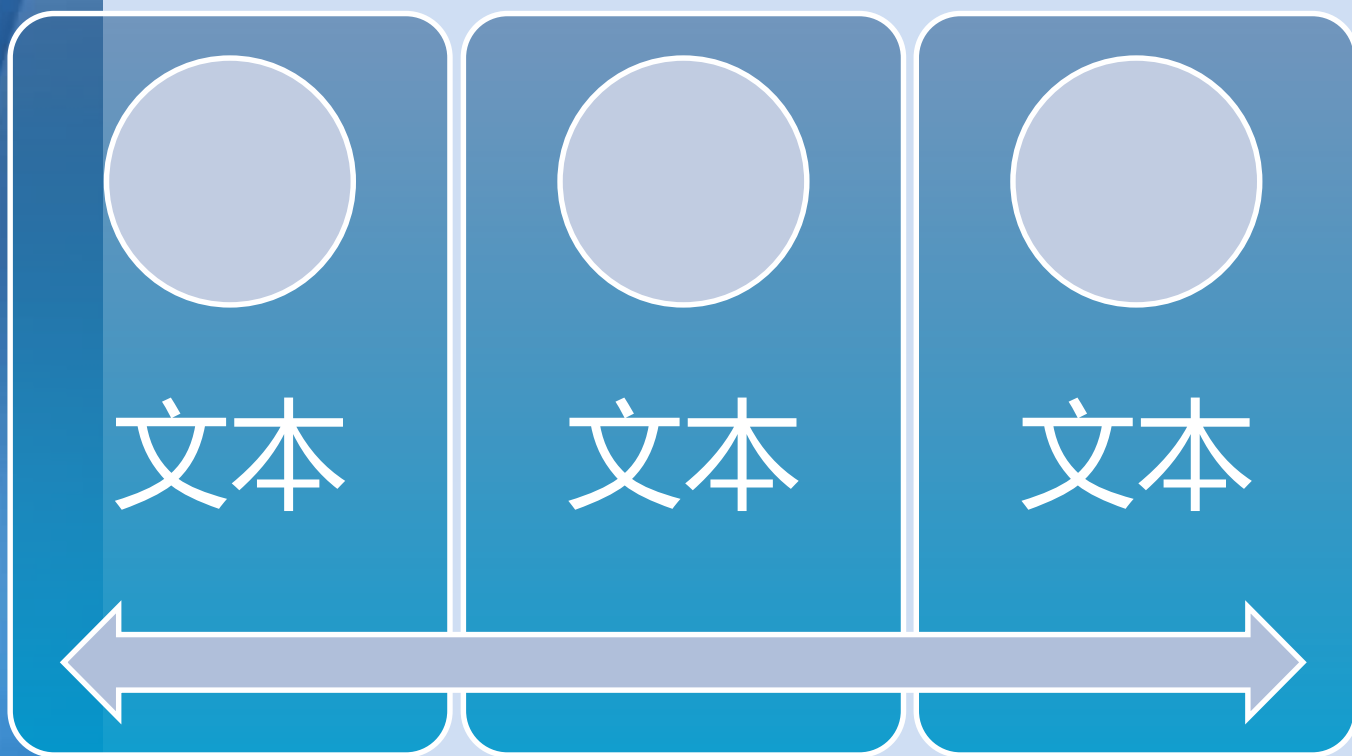
typedef char (*CodeArray) [9];
static int AlphaTo[255]={1,2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024,2048,4096,8192,16384,32768,65536,131072,262144,524288,1048576,2097152,4194304,8388608,16777216,33554432,67108864,134217728,268435456,536870912,1073741824,2147483648,4294967296,8589934592,17179869184,34359738368,68719476736,137438953472,274877906944,549755813888,1099511627776,2199023255552,4398046511104,8796093022208,17592186044416,35184372088832,70368744177664,140737488355328,281474976710656,562949953421312,1125899906842624,2251799813685248,4503599627370496,9007199254740992,18014398509481984,36028797018963968,72057594037927936,144115188075855872,288230376151711744,576460752303423488,1152921504606846976,2305843009213693952,4611686018427387904,9223372036854775808,18446744073709551616,36893488147419103232,73786976294838206464,147573952589676412928,295147905179352825856,590295810358705651712,1180591620717411303424,2361183241434822606848,4722366482869645213696,9444732965739290427392,18889465931478580854784,37778931862957161709568,75557863725914323419136,151115727451828646838272,302231454903657293676544,604462909807314587353088,1208925819614629174706176,2417851639229258349412352,4835703278458516698824704,9671406556917033397649408,19342813113834066795298816,38685626227668133590597632,77371252455336267181195264,154742504910672534362390528,309485009821345068724781056,618970019642690137449562112,1237940039285380274899124224,2475880078570760549798248448,4951760157141521099596496896,9903520314283042199192993792,19807040628566084398385987584,39614081257132168796771975168,79228162514264337593543950336,158456325028528675187087900672,316912650057057350374175801344,633825300114114700748351602688,1267650600228229401496703205376,2535301200456458802993406410752,5070602400912917605986812821504,10141204801825835211973625643008,20282409603651670423947251286016,40564819207303340847894502572032,81129638414606681695789005144064,162259276829213363391578010288128,324518553658426726783156020576256,649037107316853453566312041152512,1298074214633706907132624082305024,2596148429267413814265248164610048,5192296858534827628530496329220096,10384593717069655257060992658440192,20769187434139310514121985316880384,41538374868278621028243970633760768,83076749736557242056487941267521536,166153499473114484112975882535043072,332306998946228968225951765070086144,664613997892457936451903530140172288,1329227995784915872903807060280344576,2658455991569831745807614120560689152,5316911983139663491615228241121378304,10633823966279326983230456482242756608,21267647932558653966460912964485513216,42535295865117307932921825928971026432,85070591730234615865843651857942052864,170141183460469231731687303715884105728,340282366920938463463374607431768211456,680564733841876926926749214863536422912,1361129467683753853853498429727072845824,2722258935367507707706996859454145691648,5444517870735015415413993718908291383296,10889035741470030830827987437816582766592,21778071482940061661655974875633165533184,43556142965880123323311949751266331066368,87112285931760246646623899502532662132736,174224571863520493293247799005065324265472,348449143727040986586495598010130648530944,696898287454081973172991196020261297061888,1393796574908163946345982392040522594123776,2787593149816327892691964784081045188247552,5575186299632655785383929568162090376495104,11150372599265311570767859136324180752990208,22300745198530623141535718272648361505980416,44601490397061246283071436545296723011960832,89202980794122492566142873090593446023921664,178405961588244985132285746181186892047843328,356811923176489970264571492362373784095686656,713623846352979940529142984724747568191373312,1427247692705959881058285969449495136382746624,2854495385411919762116571938898990272765493248,5708990770823839524233143877797980545530986496,11417981541647679048466287755595961091061972992,22835963083295358096932575511191922182123945984,45671926166590716193865151022383844364247891968,91343852333181432387730302044767688728495783936,182687704666362864775460604089535377456991567872,365375409332725729550921208179070754913983135744,730750818665451459101842416358141509827966271488,1461501637330902918203684832716283019655932542976,2923003274661805836407369665432566039311865085952,5846006549323611672814739330865132078623730171904,11692013098647223345629478661730264157247460343808,23384026197294446691258957323460528314494920687616,46768052394588893382517914646921056628989841375232,93536104789177786765035829293842113257979682750464,187072209578355573530071658587684226515959365500928,374144419156711147060143317175368453031918731001856,748288838313422294120286634350736906063837462003712,1496577676626844588240573268701473812127674924007424,2993155353253689176481146537402947624255349848014848,5986310706507378352962293074805895248510699696029696,11972621413014756705924586149611790497021399392059392,23945242826029513411849172299223580994042798784118784,47890485652059026823698344598447161988085597568237568,95780971304118053647396689196894323976171195136475136,191561942608236107294793378393788647952342390272950272,383123885216472214589586756787577295904684780545900544,766247770432944429179173513575154591809369561091801088,1532495540865888858358347027150309183618739122183602176,3064991081731777716716694054300618367237478244367204352,6129982163463555433433388108601236734474956488734408704,12259964326927110866866776217202473468949912977468817408,24519928653854221733733552434404946937899825954937634816,49039857307708443467467104868809893875799651909875269632,98079714615416886934934209737619787751599303819750539264,196159429230833773869868419475239575503198607639501078528,392318858461667547739736838950479151006397215279002157056,784637716923335095479473677900958302012794430558004314112,1569275433846670190958947355801916604025588861116008628224,3138550867693340381917894711603833208051177722232017256448,6277101735386680763835789423207666416102355444464034512896,12554203470773361527671578846415332832204710888928069025792,25108406941546723055343157692830665664409421777856138051584,50216813883093446110686315385661331328818843555712276103168,100433627766186892221372630771322662657637687111424552206336,200867255532373784442745261542645325315275374222849104412672,401734511064747568885490523085290650630550748445698208825344,803469022129495137770981046170581301261101496891396417650688,1606938044258990275541962092341162602522202993782792835301376,3213876088517980551083924184682325205044405987565585670602752,6427752177035961102167848369364650410088811975131171341205504,12855504354071922204335696738729300820177623950262342682411008,25711008708143844408671393477458601640355247900524685364822016,51422017416287688817342786954917203280710495801049370729644032,102844034832575377634685573909834406561420991602098741459288064,205688069665150755269371147819668813122841983204197482918576128,411376139330301510538742295639337626245683966408394965837152256,822752278660603021077484591278675252491367932816789931674304512,1645504557321206042154969182557350504982735865633579863348609024,3291009114642412084309938365114701009965471731267159726697218048,6582018229284824168619876730229402019930943462534319453394436096,13164036458569648337239753460458804039861886925068638906788872192,26328072917139296674479506920917608079723773850137277813577744384,52656145834278593348959013841835216159447547700274555627155488768,105312291668557186697918027683670432318895095400549111254310977536,210624583337114373395836055367340864637790190801098222508621955072,421249166674228746791672110734681729275580381602196445017243910144,842498333348457493583344221469363458551160763204392890034487820288,1684996666696914987166688442938726917102321526408785780068975640576,3369993333393829974333376885877453834204643052817571560137951281152,6739986666787659948666753771754907668409286105635143120275902562304,13479973333575319897333507543509815336818572211270286240551805124608,26959946667150639794667015087019630673637144422540572481103610249216,53919893334301279589334030174039261347274288845081144962207220498432,107839786668602559178668060348078522694548577690162289924414440996864,215679573337205118357336120696157045389097155380324579848828881993728,431359146674410236714672241392314090778194310760649159697657763987456,862718293348820473429344482784628181556388621521298319395315527974912,1725436586697640946858688965569256363112777243042596638790631055949824,3450873173395281893717377931138512726225554486085193277581262111899648,6901746346790563787434755862277025452451108972170386555162524223799296,13803492693581127574869511724554050904902217944340773110325048447598592,27606985387162255149739023449108101809804435888681546220650096895197184,55213970774324510299478046898216203619608871777363092441300193790394368,110427941548649020598956093796432407239217743554726184882600387580788736,220855883097298041197912187592864814478435487109452369765200775161577472,441711766194596082395824375185729628956870974218904739530401550323154944,883423532389192164791648750371459257913741948437809479060803100646309888,1766847064778384329583297500742918515827483896875618958121606201292619776,3533694129556768659166595001485837031654967793751237916243212402585239552,7067388259113537318333190002971674063309935587502475832486424805170479104,14134776518227074636666380005943348126619871175004951664972849610340958208,28269553036454149273332760011886696253239742350009903329945699220681916416,56539106072908298546665520023773392506479484700019806659891398441363832832,113078212145816597093331040047546785012958969400039613319782796882727665664,226156424291633194186662080095093570025917938800079226639565593765455331328,452312848583266388373324160190187140051835877600158453279131187530910662656,904625697166532776746648320380374280103671755200316906558262375061821325312,1809251394333065553493296640760748560207343510400633813116524750123642650624,3618502788666131106986593281521497120414687020801267626233049500247285301248,7237005577332262213973186563042994240829374041602535252466099000494570602496,14474011154664524427946373126085988481658748083205070504932198000989141204992,28948022309329048855892746252171976963317496166410141009864396001978282409984,57896044618658097711785492504343953926634992332820282019728792003956564819968,115792089237316195423570985008687907853269984665640564039457584007913129639936,231584178474632390847141970017375815706539969331281128078915168015826259279872,463168356949264781694283940034751631413079938662562256157830336031652518559744,926336713898529563388567880069503262826159877325124512315660672063305037119488,1852673427797059126777135760139006525652319754650249024631321344126610074238976,3705346855594118253554271520278013051304639509300498049262642688253220148477952,7410693711188236507108543040556026102609279018600996098525285376506440296955904,14821387422376473014217086081112052205218558037201992197050570753012880593911808,29642774844752946028434172162224104410437116074403984394101141506025761187823616,59285549689505892056868344324448208820874232148807968788202283012051522375647232,118571099379011784113736688648896417641748464297615937576404566024103044751294464,237142198758023568227473377297792835283496928595231875152809132048206089502588928,474284397516047136454946754595585670566993857190463750305618264096412179005177856,948568795032094272909893509191171341133987714380927500611236528192824358010355712,1897137590064188545819787018382342682267975428761855001222473056385648716020711424,3794275180128377091639574036764685364535950857523710002444946112771297432041422848,7588550360256754183279148073529370729071901715047420004889892225542594864082845696,15177100720513508366558296147058741458143803430094840009779784451085189728165691392,30354201441027016733116592294117482916287606860189680019559568902170379456331382784,60708402882054033466233184588234965832575213720379360039119137804340758912662765568,121416805764108066932466369176469931665150427440758720078238275608681517825325531136,242833611528216133864932738352939863330300854881517440156476551217363035650651062272,485667223056432267729865476705879726660601709763034880312953102434726071301302124544,971334446112864535459730953411759453321203419526069760625906204869452142602604249088,19426688922257290709194619068235189066424068390521395212
```

以后的研究方向

- 增加支持的版本数（目前支持前**14**个版本，规定中共有**40**个）
- 增加对**ASCII**码的支持
- 研究含有图片的二维码的生成

谢谢！

谢谢！





文本

文本

说的

文本