

บาร์โค้ด 2 มิติสร้างได้อย่างไร How to Create a 2-D Barcode

ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันบาร์โค้ด 2 มิติหรือ QR code ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านอุตสาหกรรม ในเชิงพาณิชย์ ในหนังสือ นิตยสารต่าง ๆ รวมถึงงานประชาสัมพันธ์ และงานอื่นๆ โดยทั่วไปได้มีการมีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างบาร์โค้ดอย่างง่ายคือ เขียนตัวอักษร และตัวเลขเพื่อสร้างบาร์โค้ด 2 มิติขึ้นมาใช้งาน แต่สำหรับงานที่มีความซับซ้อนผู้ที่นำบาร์โค้ดไปใช้งานจะต้องทราบถึงกระบวนการของการเข้ารหัสและถอดรหัสของบาร์โค้ด 2 มิติก่อน เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้สำหรับงานต่างๆ ต่อไป บทความนี้นำเสนอ โครงสร้าง การเข้ารหัส และการสร้างบาร์โค้ด 2 มิติ พร้อมยกตัวอย่างประกอบเป็นบาร์โค้ดรุ่นที่ 1-Q

คำสำคัญ: บาร์โค้ด 2 มิติ, การเข้ารหัส

Abstract

Two-dimensional codes or QR Codes are now used over a much wider range of applications including industry, commerce, magazine, public relations and so on. There are usually the package softwares used to create simple two-dimensional codes are alphabetic and numeric. In order to have the suitable code, the encryption scheme of bar code must firstly understand to decode the encrypted data, and completely apply the bar code for any application. For the purpose of this paper, we present the structure of encryption scheme and the method of creating simple two-dimensional codes including the example of bar code version 1-Q.

Keywords: 2 D barcode, encode

¹อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ความนำ

QR code หรือ two-dimension-barcode หรือ 2 D barcode เป็นบาร์โค้ดแบบเดียวกันทั้งหมด มีการคิดค้นขึ้นในปี 1994 โดยบริษัทญี่ปุ่นชื่อ Denso-wave (Denso-wave,1994) ได้จดลิขสิทธิ์ในชื่อว่า “QR Code” โดยความหมายของ QR code นั้นมาจากคำว่า Quick Response มีความหมายว่า การตอบสนองที่รวดเร็ว ซึ่งเป็นเป้าหมายของผู้ที่คิดค้น code นี้ขึ้นมา ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ ญี่ปุ่น และอีกหลายประเทศ และมีการเรียกชื่อบาร์โค้ด ชนิดนี้ว่า 2 D barcode เพื่อหลีกเลี่ยงกับปัญหาลิขสิทธิ์ ประเทศไทยได้มีการเริ่มนำ QR code นี้มาใช้ใน 1-2 ปี ที่ผ่านมานี้ โดยได้มีการนำมาใช้ในการโฆษณาสินค้าที่มีการนำโค้ดนี้มาไว้ข้างกล่องของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และให้นำโค้ดข้างกล่องเครื่องดื่มมาส่องกับกล้องที่ต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะสามารถเห็นเป็นภาพขึ้นมาได้

ประเภทของบาร์โค้ด 2 มิติ

QRcode มีสองรูปแบบประกอบด้วย QRcode model 1 Original model กับ QRcode model 2 :Extended model โดยในปัจจุบันจะนิยมใช้ QRcode model 2 ซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บข้อมูลได้ดังนี้

1. ตัวเลข(0-9) ซึ่งจะแบ่งเป็นชุดละ 3 ตัว จะเข้ารหัสข้อมูลจำนวน 10 บิต และสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 7089 ตัวเลข
2. ตัวอักษรและตัวเลข(0-9,A-Z, \$,%*,+, -,./,:) จำนวน 45 ตัวอักษร ซึ่งจะแบ่งเป็นชุดละ 2 ตัว จะเข้ารหัสข้อมูลจำนวน 11 บิต และสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 4296 ตัวอักษร
3. ข้อมูล 8 บิต สามารถเก็บข้อมูลได้ 2953 ตัวอักษร
4. ภาษาเคนจิ (KANJI) เป็นการเข้ารหัสข้อมูลจำนวน 13 บิต และสามารถเก็บข้อมูลได้ 1817 ตัวอักษร

การแก้ไขความผิดพลาดในบาร์โค้ด 2 มิติ

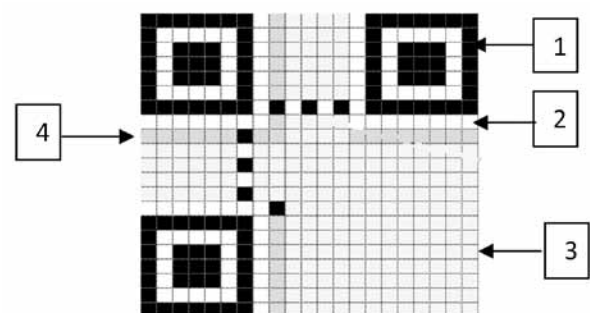
การแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากความเสียหายของบาร์โค้ด 2 มิติ สามารถกำหนดได้จากฟังก์ชันแก้ไขข้อผิดพลาดของบาร์โค้ด 2 มิติจะถูกกำหนดใน 4 ระดับดังนี้

- ระดับ L สามารถแก้ไขข้อมูลได้ที่ความผิดพลาด 7 %
- ระดับ M สามารถแก้ไขข้อมูลได้ที่ความผิดพลาด 15 %
- ระดับ Q สามารถแก้ไขข้อมูลได้ที่ความผิดพลาด 25 %
- ระดับ H สามารถแก้ไขข้อมูลได้ที่ความผิดพลาด 30 %

โครงสร้างของบาร์โค้ด 2 มิติ

สามารถกำหนดได้โดยรุ่น(version) จาก 1 ถึง 40 โดย รุ่น 1 เป็นเมทริกซ์ขนาด 21x21 โมดูล โดยจะเพิ่มขึ้น 4 โมดูลต่อรุ่น ซึ่งรุ่นที่ 40 มีขนาดเท่ากับ 177x177 โมดูล โครงสร้างของบาร์โค้ด 2 มิติแสดงดังภาพ 1 โดยจะมีรูปแบบคือ รุ่นที่ 1 แบบ Extended model ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ใช้ระบุตำแหน่งของสัญลักษณ์ในบาร์โค้ด เพื่อถอดรหัส
2. ใช้ระบุตำแหน่งของบาร์โค้ด เพื่อถอดรหัส
3. เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่เข้ารหัสแล้ว
4. เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของระดับการตรวจสอบความผิดพลาด



ภาพ 1 โครงสร้างของบาร์โค้ด 2 มิติรุ่นที่ 1

การสร้างบาร์โค้ด 2 มิติประกอบด้วยด้วยขั้นตอน ดังนี้ การเข้ารหัสข้อมูล การคำนวณค่าแก้ไขความผิดพลาด การเลือกรูปแบบของหน้ากาก และการสร้างชนิดของข้อมูลข่าวสาร

1. การเข้ารหัสข้อมูล

ความจุของบาร์โค้ด 2 มิติ กำหนดได้โดย รุ่น ระดับการแก้ไขความผิดพลาด และโหมดการเข้ารหัส ตัวอย่าง ในรุ่นที่ 1 และระดับแก้ไขความผิดพลาดระดับ Q จะสามารถเก็บข้อมูลของตัวเลขจำนวน 27 ตัว ตัวอักษร และตัวเลขจำนวน 16 ตัว และข้อมูลขนาด 11 ไบต์ (ตารางที่ 1 Y.Swetake(1997)) ดังนั้นถ้าค่าของรุ่น และระดับแก้ไขความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นจะสามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้นแต่จะใช้เนื้อที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นเพื่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องเลือกรุ่นและระดับแก้ไขความผิดพลาดที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งานจริง (Thonky.(2012))

ตัวอย่าง ถ้าต้องการใช้บาร์โค้ด 2 มิติเข้ารหัสข้อมูล “HELLO WORLD” โดยกำหนดให้ใช้รุ่นที่ 1 และระดับแก้ไขความผิดพลาด Q ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดชนิดของข้อมูลโดยแทนชนิดของข้อมูลด้วยเลขฐาน 2 จำนวน 4 บิต โดยแบ่งเป็น 4 โหมด ดังนี้

โหมดตัวเลข : 0001

โหมดตัวอักษรและตัวเลข : 0010

โหมดข้อมูล 8 บิต : 0100

โหมดภาษาเคนจิ(KANJI) : 1000

จากตัวอย่างข้อมูลเป็นทั้งตัวอักษรและตัวเลข ดังนั้นจึงเลือกใช้โหมดตัวอักษรและตัวเลขแทนด้วยรหัส 0010

2. ข้อความ “HELLO WORLD” มีจำนวน 5 ตัวอักษรต่อหนึ่งคำ รวมกับช่องว่างจะได้ข้อมูลที่ต้องการเท่ากับ 11 ตัวอักษร จึงเข้ารหัสจำนวนตัวอักษรได้เป็น 1011 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11 ในเลขฐาน 10 จากข้อกำหนดของรุ่นที่ 1 ต้องการเข้ารหัสข้อมูลจำนวน 9 บิตของโหมด

ตัวอักษรและตัวเลข จากระหัส 1011 มีจำนวน 4 บิต จำเป็นต้องเพิ่ม “0” ไปอีก 5 บิตเพื่อให้ครบ 9 บิต ผลที่ได้เป็น “000001011”

3. การเข้ารหัสข้อมูลด้วยเลขฐาน 2 ใน โหมดตัวอักษรและตัวเลขจากตัวอย่างข้อมูล “HELLO WORLD” จะทำการแยกข้อมูลเป็นกลุ่มโดยแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนข้อมูล 2 ตัวอักษรแล้วนำตัวอักษรตัวแรกเทียบกับตาราง (ตารางที่ 2 Y.Swetke(1997)) แล้วนำค่ารหัสของตัวอักษรตัวแรกคูณด้วย 45 แล้วบวกกับค่ารหัสของตัวอักษรตัวที่ 2 ผลที่ได้จะแทนด้วย 11 บิตข้อมูล ผลที่ได้ดังตารางที่ 1 และถ้าตัวอักษรตัวสุดท้ายไม่สามารถจับคู่ได้ให้นำค่าของตัวอักษรที่เป็นค่า ASCII ที่ได้เข้ารหัสจำนวน 6 บิต

ตาราง 1

ผลที่ได้จากการเข้ารหัสข้อมูลของข้อความ “HELLO WORLD”

ข้อมูล	แทนค่า	ค่าที่ได้	เลขฐาน2
“HE”	$(45 \times 17) + 14$	779	01100001011
“LL”	$(45 \times 21) + 21$	966	01111000110
“O”	$(45 \times 24) + 36$	1116	10001011100
“WO”	$(45 \times 32) + 24$	1464	10110111000
“RL”	$(45 \times 27) + 21$	1236	10011010100
“D”	13	13	001101

ข้อมูลที่เข้ารหัสทั้งหมด

0010 000001011 01100001011 01111000110
10001011100 10110111000 10011010100 001101

4. การปิดท้ายของข้อมูล

จากบาร์โค้ด 2 มิติรุ่น 1 และระดับแก้ไขความผิดพลาด Q จากการเปิดตาราง (The maximum data capacity for each version(1994)) จะได้ความจุข้อมูลสูงสุดไม่เกิน 104 บิต ซึ่งจำนวนบิตที่ได้จากหัวข้อที่ 3 มีจำนวนเท่ากับ 74 ซึ่งน้อยกว่า 104 บิต จึงต้องเพิ่ม 0000 หลังข้อมูลที่เข้ารหัสเพื่อแทนบิตที่เหลือ แต่ถ้าในกรณีที่ข้อมูลที่ได้มีจำนวนเท่ากับ 102 ก็ให้เพิ่ม 0 อีก 2 ตัวเพื่อ

ให้ครบ 104 บิต ผลที่ได้แสดงข้อมูลด้านล่างนี้

0010 000001011 01100001011 01111000110
10001011100 10110111000 10011010100 001101
0000

นำผลที่ได้จัดกลุ่มชุดข้อมูลใหม่โดยให้แต่ละกลุ่มมีขนาด 8 บิต ดังนี้

00100000 01011011 00001011 01111000
11010001 01110010 11011100 01001101
01000011 010000

และเพิ่มเลข 0 เพื่อให้ข้อมูลชุดสุดท้ายมีขนาด 8 บิตจากตัวอย่างทำการเพิ่ม 0 อีก 2 ตัว

00100000 01011011 00001011 01111000
11010001 01110010 11011100 01001101
01000011 01000000

จากขั้นตอนข้างต้นข้อมูลที่ได้ยังไม่ครบ 104 บิต จะทำการเพิ่มข้อมูล 8 บิต 2 ชุด ประกอบด้วย “11101100” และ “00010001” เพื่อให้ข้อมูลครบ 104 บิต ตัวอย่างจากข้อมูลด้านบนประกอบด้วยบิตรวมทั้งหมดจำนวน 80 บิตซึ่งยังขาดอีก 24 บิต ดังนั้นจึงเพิ่ม บิตข้อมูล 8 บิตอีกจำนวน 3 ชุด ผลที่ได้ดังข้อมูลด้านล่าง
00100000 01011011 00001011 01111000
11010001 01110010 11011100 01001101
01000011 01000000 11101100 00010001
11101100

5. แปลงค่าที่ได้เป็นเลขฐาน 10 ดังนี้

36 91 11 120 209 114 220 77 67 236 17 236

2. การคำนวณค่าแก้ไขความผิดพลาด (Calculating error correcting code words)

สำหรับบาร์โค้ด 2 มิตินั้นจะการใช้การเข้ารหัสแบบรีด-โซโลมอน(Reed-solomon) เพื่อใช้แก้ไขข้อผิดพลาด (Krzysztof Wesolowski. 2009)

1. นำผลที่ได้จากข้อมูลก่อนหน้าเพื่อหาค่าในอาร์เอส-บล็อก(RS-block)(ตารางที่ 5 Y.Swetake 1977) จากตัวอย่างอาร์เอส-บล็อกของ 1-Q จะได้ค่าของจำนวนค่าของการแก้ไขความผิดพลาดเท่ากับ 13

2. สร้างพหุนามข้อความ(f(x)) (message polynomial)

ข้อมูลจากหัวข้อที่ผ่านมาประกอบด้วย 36 91 11 120 209 114 220 77 67 236 17 236 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ (coefficients) และหาค่าของเลขยกกำลัง (exponent) ได้จาก จำนวนบิตของข้อมูล+จำนวนบิตค่าของการแก้ไขความผิดพลาด-1 จะได้ $13+13-1$ เท่ากับ 25 ดังนั้นเทอมแรกของพหุนามเป็น $32x^{25}$ เทอมถัดมาก็จะมีค่าเท่ากับ x^{25-1} ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ดังสมการที่ 1

$$f(x)=32x^{25}+91x^{24}+11x^{23}+120x^{22}+209x^{21}+114x^{20}+220x^{19}+77x^{18}+67x^{17}+64x^{16}+236x^{15}+17x^{14}+236x^{13} \quad (1)$$

3. สร้างพหุนามกำเนิด(g(x))(generator polynomial)

สามารถหาโดยการเปิดตาราง (ตารางที่ 3 Y.Swetake 1977) ซึ่งค้นหาจากข้อมูลของจำนวนค่าของการแก้ไขความผิดพลาด เท่ากับ 13 ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ดังสมการที่ 2

$$g(x) = x^{13} + \alpha^{74}x^{12} + \alpha^{152}x^{11} + \alpha^{176}x^{10} + \alpha^{100}x^9 + \alpha^{86}x^8 + \alpha^{100}x^7 + \alpha^{106}x^6 + \alpha^{104}x^5 + \alpha^{130}x^4 + \alpha^{218}x^3 + \alpha^{206}x^2 + \alpha^{140}x + \alpha^{78} \quad (2)$$

4. ทหารพหุนามข้อความด้วยพหุนามกำเนิดซึ่งพหุนามกำเนิดโดยทั่วไปได้มาจาก $(x - \alpha)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^t)$ ซึ่ง t จะเท่ากับจำนวนค่าของการแก้ไขความผิดพลาด-1 จากหัวข้อที่ผ่านมา t จะมีค่าเท่ากับ 13 ค่าของการแก้ไขความผิดพลาด-1 จะมีค่าเท่ากับ 12 สามารถทำให้ง่ายโดยการคูณ พหุนามกำเนิดด้วย x^{12} ดังนั้นเทอมแรกจะได้ค่า $x^{13}x^{12}$ เท่ากับ x^{25} ดังนั้นนำพหุนามกำเนิดทั้งหมดคูณกับ x^{12} จะได้

$$x^{25} + \alpha^{74}x^{24} + \alpha^{152}x^{23} + \alpha^{176}x^{22} + \alpha^{100}x^{21} + \alpha^{86}x^{20} + \alpha^{100}x^{19} + \alpha^{106}x^{18} + \alpha^{104}x^{17} + \alpha^{130}x^{16} + \alpha^{218}x^{15} + \alpha^{206}x^{14} + \alpha^{140}x^{13} + \alpha^{78}x^{12}$$

ทำการคูณพหุนามกำเนิดด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรกของพหุนามข้อความซึ่งมีค่าเท่ากับ 32 เมื่อเปิดตาราง

เทียบจำนวนเต็ม กับเลขยกกำลัง α (ตารางที่ 4 Y.Swetake 1977) จะได้ค่า α^5 นำค่าที่ได้คูณกับพหุนามกำเนิดใน ทุกเทอมจะได้

$$\alpha^5 x^{25} + \alpha^5 \alpha^{74} x^{24} + \alpha^5 \alpha^{152} x^{23} + \alpha^5 \alpha^{176} x^{22} + \alpha^5 \alpha^{100} x^{21} + \alpha^5 \alpha^{86} x^{20} + \alpha^5 \alpha^{100} x^{19} + \alpha^5 \alpha^{106} x^{18} + \alpha^5 \alpha^{104} x^{17} + \alpha^5 \alpha^{130} x^{16} + \alpha^5 \alpha^{218} x^{15} + \alpha^5 \alpha^{206} x^{14} + \alpha^5 \alpha^{140} x^{13} + \alpha^5 \alpha^{78} x^{12}$$

การคูณของ α จะเป็นการนำกำลังมาบวกกัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางข้างบน ตัวอย่าง $\alpha^5 \alpha^{74}$ จะได้ค่า $5+74=79$ หรือ α^{79} เท่ากับ 240 ถ้ากรณีที่ค่าของเลขยกกำลังเกิน 255 ให้ใช้โมดูล 256 ดังนั้นผลจะได้ $32x^{25} + 240x^{24} + 213x^{23} + 49x^{22} + 26x^{21} + 163x^{20} + 26x^{19} + 206x^{18} + 189x^{17} + 169x^{16} + 9x^{15} + 178x^{14} + 77x^{13} + 187x^{12}$

นำผลของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มา XOR กับค่าสัมประสิทธิ์ของพหุนามข้อความประกอบด้วย

$$f(x)=32x^{25} + 91x^{24} + 11x^{23} + 120x^{22} + 209x^{21} + 114x^{20} + 220x^{19} + 77x^{18} + 67x^{17} + 64x^{16} + 236x^{15} + 17x^{14} + 236x^{13}$$

จะได้

$$(32 \oplus 32)x^{25} + (91 \oplus 240)x^{24} + (11 \oplus 213)x^{23} + (120 \oplus 49)x^{22} + (209 \oplus 26)x^{21} + (114 \oplus 163)x^{20} + (220 \oplus 26)x^{19} + (77 \oplus 206)x^{18} + (67 \oplus 189)x^{17} + (64 \oplus 169)x^{16} + (236 \oplus 9)x^{15} + (17 \oplus 178)x^{14} + (236 \oplus 77)x^{13} + 187x^{12}$$

ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้

$$171x^{24} + 222x^{23} + 73x^{22} + 203x^{21} + 209x^{20} + 198x^{19} + 131x^{18} + 254x^{17} + 233x^{16} + 229x^{15} + 163x^{14} + 161x^{13} + 187x^{12}$$

ทำซ้ำโดยการคูณพหุนามกำเนิดด้วย x^{11} จะได้ผลของเทอมแรกเป็น x^{24} ต่อมานำค่าสัมประสิทธิ์ตัวแรกของผลลัพธ์ที่ได้ในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 171 มาเปิดตารางจะได้ α^{178} คูณทั้งพหุนามกำเนิดทั้งหมดด้วย α^{178} จะได้

$$\alpha^{178} * x^{24} + \alpha^{178} * \alpha^{74} x^{23} + \alpha^{178} * \alpha^{152} x^{22} + \alpha^{178} * \alpha^{176} x^{21} + \alpha^{178} * \alpha^{100} x^{20} + \alpha^{178} * \alpha^{86} x^{19} + \alpha^{178} * \alpha^{100} x^{18} + \alpha^{178} * \alpha^{106} x^{17} + \alpha^{178} * \alpha^{104} x^{16} + \alpha^{178} * \alpha^{130} x^{15} + \alpha^{178} * \alpha^{218} x^{14} + \alpha^{178} * \alpha^{206} x^{13} + \alpha^{178} * \alpha^{140} x^{12} + \alpha^{178} * \alpha^{78} x^{11}$$

หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ของพหุนามกำเนิดและพหุนามข้อความในตำแหน่งเดียวกันมา XOR จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกว่าจะได้เทอมแรกของพหุนามเป็น x^{12} จะได้

$$168x^{12} + 72x^{11} + 22x^{10} + 82x^9 + 217x^8 + 54x^7 + 156x^6 + 46x^4 + 15x^3 + 180x^2 + 122x^1 + 16x^0$$

ทำการวางค่าของสัมประสิทธิ์ของพหุนามกำเนิดที่ได้ต่อจากค่าสัมประสิทธิ์ข้อความ ผลที่ได้ดังนี้

32	91	11	124	145	114	220	77	67	64	236	17	236
168	72	22	82	217	54	156	46	15	180	122	16	

ต่อไปทำการแปลงค่าให้อยู่ในรูปของเลขฐาน 2 ดังนี้

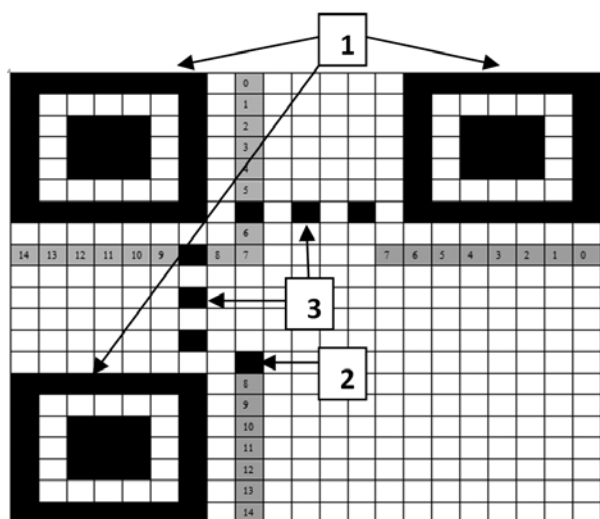
00100000	01011011	00001011	01111000
11010001	01110010	11011100	01001101
01000011	01000000	11101100	00010001
11101100	10101000	01001000	00010110
01010010	11011001	00110110	10011100
00000000	00101110	00001111	10110100
01111010	00010000		

3. เลือกรูปแบบของหน้ากากที่ดีที่สุด (Choose the Best Mask Pattern)

เมื่อได้พหุนามข้อความและค่าแก้ไขความผิดพลาดแล้ว ลำดับต่อมาจะเลือกรูปแบบของหน้ากากที่ดีที่สุด หน้ากากของหน้ากากดังกล่าวจะทำการเปลี่ยนค่าบิตข้อมูลตามเงื่อนไขของหน้ากากนั้น ๆ ซึ่งหน้ากากมีด้วยกันทั้งหมด 8 รูปแบบดังนี้

Mask Number	When to switch the bit
000	$(y + x) \bmod 2 == 0$
001	$y \bmod 2 == 0$
010	$x \bmod 3 == 0$
011	$(y + x) \bmod 3 == 0$
100	$((y / 2) + (x / 3)) \bmod 2 == 0$
101	$((y * x) \bmod 2) + ((y * x) \bmod 3) == 0$
110	$((y * x) \bmod 2) + ((y * x) \bmod 3) \bmod 2 == 0$
111	$((y + x) \bmod 2) + ((y * x) \bmod 3) \bmod 2 == 0$

ขั้นตอนการสร้างบาร์โค้ด 2 มิติเริ่มต้นจากการสร้างเมตริกโดยขนาดจะขึ้นอยู่กับรุ่นของบาร์โค้ดตัวอย่าง ถ้าเป็นรุ่นที่ 1 จะได้เมตริกขนาด 21x21 โมดูล ต่อจากนั้น ทำวางรูปแบบพื้นฐานดังภาพ 1 ซึ่งจะประกอบด้วย 1.ตำแหน่งตรวจสอบจะวางไว้ยังตำแหน่งบนซ้าย บนขวา และล่างซ้าย ทั้งหมด 3 ชุด 2.แบ็กกราวด์ ฟังก์ชันจะอยู่มุมบนขวาของตำแหน่งตรวจสอบล่างซ้าย 3.เส้นเชื่อมตำแหน่งตรวจสอบ (Timing pattern) จะมีรูปแบบเป็นบล็อก ขาว ดำ ขาว ดำ สลับกันไประหว่างตำแหน่งตรวจสอบ



ภาพ 2 ตำแหน่งของการใส่ชนิดของข้อมูล

การสร้างชนิดของข้อมูล (type information) สำหรับบาร์โค้ดรุ่น 1 ระดับแก้ไขข้อมูลที่มีความผิดพลาด

Q จะใช้บิตข้อมูลจำนวน 15 บิต ดังภาพ 2 ประกอบด้วย โค้ดของระดับแก้ไขข้อมูล 2 บิต รูปแบบของหน้ากาก 3 บิต และข้อมูลที่ใส่แก้ไขข้อผิดพลาดอีก 10 บิต (อ้างอิง BCH 15,5)(Bernard Sklar 2002) จากตัวอย่าง กำหนดระดับแก้ไขข้อมูลที่มีความผิดพลาด Q (ตารางที่ 5 Y.Swetake 1977) และหน้ากากรูปแบบที่ 6 จะได้ 11110 จากนั้นหาข้อมูลที่ใส่แก้ไขข้อผิดพลาดอีก 10 บิตดังนี้ เริ่มต้นจากการกำหนดพหุนาม $f(x)$ ได้จากค่าสัมประสิทธิ์จากข้อมูล 11110 เป็น $x^4 + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$ และคูณด้วย x^{10} จะได้เป็น $f(x) = x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11}$ หากค่า $g(x)$ ได้จากรหัส BCH 15,5 จะได้ $g(x) = x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ จากนั้นทำการตั้ง $F(x)$ ทหารด้วย $G(x)$ จะได้เศษ $R(x) = x^9 + x^7 + x^6 + x^3$ จากนั้นทำการแปลงเป็นเลขฐาน 2 จะได้ 1011001000 จำนวน 10 บิต จากนั้นนำผลที่ได้ไปเชื่อมต่อกับ 5 บิตข้อมูลด้านบนจะได้เป็น

ระดับแก้ไขข้อมูลที่มีความผิดพลาด	รูปแบบของหน้ากากที่ใช้	ข้อมูลที่ใส่แก้ไขข้อผิดพลาด
11	110	1011001000

ขั้นตอนสุดท้ายนำบิตข้อมูลมาทำ XOR กับ “101010000010010” จะได้ชนิดของข้อมูลเท่ากับ 010111011011010 นำผลที่ได้ไปใส่ยังตำแหน่งของบาร์โค้ด 2 มิติ ดังภาพ 2 โดยวางข้อมูลที่ได้ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเริ่มต้นจากลำดับที่ 14-8 จากล่างขึ้นบน ต่อจากนั้นวางลำดับที่ 7-0 จากซ้ายไปขวา ครั้งที่ 2 เริ่มจากลำดับที่ 14 -7 จากซ้ายไปขวา และ 6-0 จากล่างขึ้นบน เมื่อได้โครงสร้างหลักของบาร์โค้ด 2 มิติเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเป็นขั้นตอนของการใส่ข้อมูลที่เข้ารหัสแล้ว โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาจากหัวข้อก่อนหน้าและทำการปรับข้อมูลด้วยหน้ากากที่ได้ผลดีที่สุด หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ใส่เข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

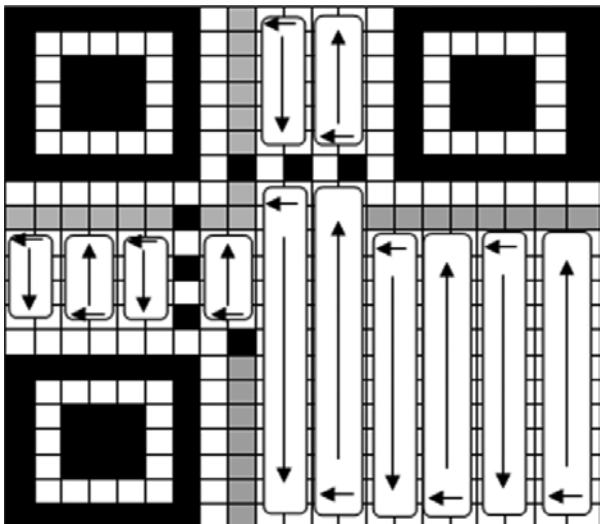
4. การจัดสรรข้อมูล (Data allocation)

สำหรับบาร์โค้ด 2 มิติ 1 โมดูลจะแทนด้วย 1 บิต ข้อมูลที่ได้จากหัวข้อที่ผ่านมาจะถูกเข้ารหัสด้วยเลขฐาน 2 จากนั้นนำข้อมูลที่ใส่มาลงตำแหน่งดังนี้

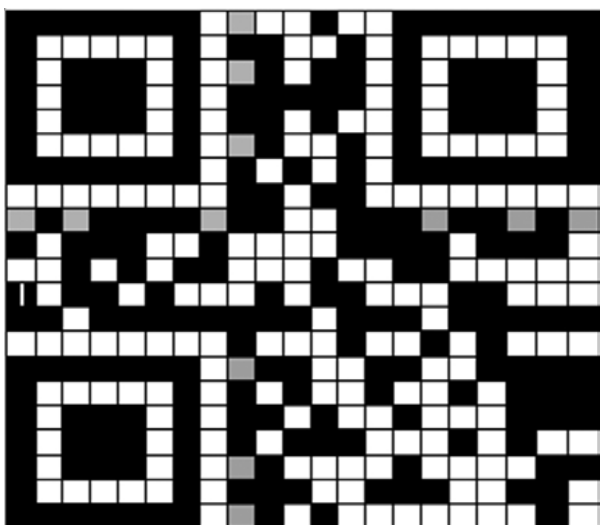
4.1 กำหนดให้ i แทนตำแหน่งแถว (row) และ j แทนตำแหน่งหลัก (columns) โดยมุมบนซ้ายจะมีพิกัดเป็น (0,0) ตัวอย่างบาร์โค้ด 2 มิติ รุ่นที่ 1 จะมีโมดูลที่ (0,0) ถึง (20,20)

4.2 ตำแหน่งของโมดูลเริ่มต้นที่มุมขวาล่าง ตัวอย่างถ้ำรุ่นของบาร์โค้ดเป็น 1-Q โมดูลเริ่มต้นจะอยู่ที่ตำแหน่ง (20,20) กำหนดให้ 0 แทนด้วยสีขาวและ 1 แทนด้วยสีดำ

4.3 ทิศทางการบันทึกข้อมูล จะเริ่มบันทึกข้อมูลจากล่างขึ้นบน โดยใช้ขนาดความกว้าง 2 โมดูล และเริ่มจากตำแหน่งมุมล่างขวาหรือพิกัด (20,20) สำหรับรุ่น 1-Q ดังภาพ 3 เมื่อบันทึกสีตามรหัสเรียบร้อยแล้ว จะได้ผลดังภาพ 4



ภาพ 3 ทิศทางการบันทึกข้อมูลในบาร์โค้ด 2 มิติรุ่น 1-Q



ภาพ 4 บาร์โค้ด 2 มิติของข้อความ “HELLO WORLD”

บทสรุป

จากการศึกษาเรื่องการสร้างบาร์โค้ด 2 มิติ นั้นพบว่าโครงสร้างหลักของบาร์โค้ดนั้นประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (1) ส่วนที่ใช้ตรวจสอบมีด้วยกัน 3 ตำแหน่ง (2) ส่วนที่ใช้ระบุตำแหน่งของส่วนที่ใช้ตรวจสอบมีด้วยกัน 2 ชุด (3) ส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและ (4) ส่วนที่จัดเก็บข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความผิดพลาด ซึ่งคุณสมบัติที่แตกต่างจากบาร์โค้ด 1 มิติ คือ สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมากกว่า เมื่อบาร์โค้ดเกิดชำรุดตามเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดจะสามารถอ่านข้อมูลในบาร์โค้ดนั้นได้ และอุปกรณ์ที่ใช้อ่านบาร์โค้ด 2 มิติ สามารถใช้กล้องมือถือหรือกล้องที่ต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งมีความสะดวกและราคาถูก

จากคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมา ถึงแม้ว่าจะมีการเข้ารหัสที่มีความซับซ้อนแต่ทั้งหมดนี้ก็เพื่อประโยชน์ในกรณีที่บาร์โค้ดเกิดความเสียหายจะเห็นว่าบาร์โค้ด 2 มิติ นั้นสามารถใช้งานได้หลากหลาย

เอกสารอ้างอิง

- Bernard Sklar. (2002). *Digital communications: Fundamentals and application* (2nd ed.). Prentic-Hall.
- Denso-wave. (1994). *About 2D Code*. Retrieved from <http://www.densowave.com/qrcode/aboutqr-e.html>
- Denso-wave. (1994). *The maximum data capacity for each version*. Retrieved from <http://www.denso-wave.com/qrcode/vertable1-e.html>
- Krzysztof Wesolowski. (2009). *Introduction to digital communication system*. Poland. John Wiley and Sons.
- Thonky. (2012). *QR Code Tutorial: Introduction*. Retrieved from <http://www.thonky.com/qr-code-tutorial/part-1-encode-data/>
- Wikipedia. (2012). *Reed-solomon error correction*. Retrieved from http://simple.wikipedia.org/wiki/Reed-Solomon_error_correction
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr1_en.html
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr_table0.html
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr_table1.html
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr_table2.html
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr_table3.html
- Swetake, Y. (1997). *How to create QRcode*. Retrieved from http://www.swetake.com/qr/qr_table4.html