บทที่ 4

การเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส

จากการศึกษาทฤษฎีรหัส และการวิจัย พบว่าโดยทั่วไป จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัสได้โดย

4.1 การทำอินเทอลีฟวิ่ง

รหัสที่ทำอินเทอลีฟ จะทำให้โคดเวิร์ดที่ได้รับมามีความผิดพลาดต่อเนื่องเป็นช่วงสั้นลงได้ โดยสามารถแยกบิตที่ผิดพลาดเป็นช่วงเหล่านั้น ออกเป็นความผิดพลาดแบบสุ่มที่สั้นลง เป็นจำนวนมาก เพื่อให้โคดเวิร์ดสามารถจัดการกับความผิดพลาดนั้นได้ โดยเป็นการเพิ่มโอกาสของการสืบหา และแก้ความผิดพลาดของรหัสให้ถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ประสิทธิภาพของรหัสเพิ่มขึ้นได้

4.2 การใช้รหัสแบบผสม

รหัสแบบผสม จะมีตัวถอดรหัสตัวในเพื่อจัดการกับความผิดพลาดของข้อมูลก่อน แล้วตัวถอดรหัสตัวนอก จึงจะจัดการกับความผิดพลาดที่อาจหลงเหลืออยู่ได้ ซึ่งรหัสตัวในหรือตัวนอกควรจะเป็นรหัสแบบใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานที่จะนำไปใช้ อัตราของรหัส และขีดจำกัดของแชนแนล โดยกรณีที่ใช้อัตราของรหัสสูงก็ควรจะใช้รหัสแบบบลอก ซึ่งการใช้รหัสแบบผสมระหว่างรหัสแบบบลอก และรหัสคอนโวลูชันนัล หรือระหว่างรหัสแบบใดแบบหนึ่ง กับระบบการส่งผ่านข้อมูลที่มีลักษณะของความผิดพลาดมากกว่า 1 รูปแบบขึ้นไป โดยใช้รหัสที่เหมาะสม กับลักษณะความผิดพลาดแต่ละแบบ จะทำให้สามารถควบคุมความผิดพลาดของข้อมูลได้ดีขึ้น

4.3 การปรับปรุงความสามารถในการแก้ความผิดพลาดของรหัส

ในกรณีที่ เกิดความผิดพลาดของข้อมูล มากเกินกว่า ความสามารถในการแก้ความผิดพลาดให้ถูกต้องได้โดยการใช้รหัสนั้น จากการทดสอบรหัส กับความผิดพลาดของข้อมูลในรูปแบบต่างๆ กัน พบว่าการใช้อินเทอลีฟวิ่ง จะช่วยให้ความผิดพลาดเป็นช่วงที่เกิดขึ้น ถูกแยกออกจากกันเป็นช่วงที่สั้นลง หลังจากการทำดีอินเทอลีฟที่ตัวรับเพื่อให้รหัสสามารถจัดการกับความผิดพลาดนั้นได้ แต่ในกรณีที่ความผิดพลาดเป็นช่วงนั้นยาวเกินกว่าความสามารถของรหัสที่จะแก้ให้ถูกต้องได้ แม้จะใช้อินเทอลีฟเข้ามาช่วยแล้วก็ตาม โดยรหัสจะทราบว่าโคดเวิร์ดที่ได้รับมานั้นไม่ถูกต้อง แต่จะไม่สามารถแก้ให้ถูกต้องได้ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า รูปแบบของความผิดพลาดเป็นช่วง หลังจากทำดีอินเทอลีฟของแต่ละโคดเวิร์ดแล้ว บิตที่ผิดพลาดในโคดเวิร์ดหนึ่งๆ จะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด ในโคดเวิร์ดอื่นๆ ในกลุ่มเดียวกัน และรวมทั้งจำนวนบิตที่ผิดพลาดด้วย แสดงได้ดังสมการ

$$CW_1 = X_{11}\ X_{12}\ X_{13}\ X_{14}\ X_{15}\ \ldots\ X_{1m}$$

$$CW_2 = X_{21}\ X_{22}\ X_{23}\ X_{24}\ X_{25}\ \ldots\ X_{2m}$$

$$CW_3 = X_{31}\ X_{32}\ X_{33}\ X_{34}\ X_{35}\ \ldots\ X_{3m}$$

$$CW_4 = X_{41}\ X_{42}\ X_{43}\ X_{44}\ X_{45}\ \ldots\ X_{4m}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \qquad \vdots$$

$$CW_n = X_{n1}\ X_{n2}\ X_{n3}\ X_{n4}\ X_{n5}\ \ldots\ X_{nm}$$

เมื่อ CW_i = โคดเวิร์ดที่ i

X_{ij} = บิตที่ j ของโคดเวิร์ดที่ i

$i = 1, 2, \ldots, n$

$j = 1, 2, \ldots, m$

เมื่อทำอินเทอลีฟของ n โคดเวิร์ด จะได้

$$T_1 = X_{11}\ X_{21}\ X_{31}\ X_{41}\ X_{51}\ \ldots\ X_{n1}$$

$$T_2 = X_{12}\ X_{22}\ X_{32}\ X_{42}\ X_{52}\ \ldots\ X_{n2}$$

$$T_3 = X_{13}\ X_{23}\ X_{33}\ X_{43}\ X_{53}\ \ldots\ X_{n3}$$

$$T_4 = X_{14}\ X_{24}\ X_{34}\ X_{44}\ X_{54}\ \ldots\ X_{n4}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \qquad \vdots$$

$$T_m = X_{1m}\ X_{2m}\ X_{3m}\ X_{4m}\ X_{5m}\ \ldots\ X_{nm}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ T_k = บลอกที่ k ของรหัสที่ทำอันเทอลัฟแล้ว

$k = 1, 2, \ldots, m$

สมมุติว่าเกิดความผิดพลาดเป็นช่วงในบลอกที่ 2 เป็นจำนวน 3 บิต จะได้ว่า

$$T_1 = X_{11}\ X_{21}\ X_{31}\ X_{41}\ X_{51}\ \ldots\ X_{n1}$$

$$T_2 = X_{12}\ Y_{22}\ Y_{32}\ Y_{42}\ X_{52}\ \ldots\ X_{n2}$$

$$T_3 = X_{13}\ X_{23}\ X_{33}\ X_{43}\ X_{53}\ \ldots\ X_{n3}$$

$$T_4 = X_{14}\ X_{24}\ X_{34}\ X_{44}\ X_{54}\ \ldots\ X_{n4}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$T_m = X_{1m}\ X_{2m}\ X_{3m}\ X_{4m}\ X_{5m}\ \ldots\ X_{nm}$$

เมื่อ Y_{ij} เป็นตำแหน่งบิตที่เกิดความผิดพลาด และเมื่อทำดีอันเทอลัฟที่ตัวรับ จะได้

$$CW_1 = X_{11}\ X_{12}\ X_{13}\ X_{14}\ X_{15}\ \ldots\ X_{1m}$$

$$CW_2 = X_{21}\ Y_{22}\ X_{23}\ X_{24}\ X_{25}\ \ldots\ X_{2m}$$

$$CW_3 = X_{31}\ Y_{32}\ X_{33}\ X_{34}\ X_{35}\ \ldots\ X_{3m}$$

$$CW_4 = X_{41}\ Y_{42}\ X_{43}\ X_{44}\ X_{45}\ \ldots\ X_{4m}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$CW_n = X_{n1}\ X_{n2}\ X_{n3}\ X_{n4}\ X_{n5}\ \ldots\ X_{nm}$$

ดังนั้นหากการถอดรหัส โดยมีการเก็บสถิติของรูปแบบ และตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด ของข้อมูลในโคดเวิร์ดก่อนหน้าไว้ ซึ่งเป็นความผิดพลาดในรูปแบบที่อยู่ในความสามารถของรหัส จะแก้ให้ถูกต้องได้ แล้วนำมาพิจารณา ความน่าจะเป็นของโอกาส ที่ความผิดพลาดในแต่ละรูปแบบ จะเกิดขึ้นกับโคดเวิร์ดอื่นๆ ในกลุ่มเดียวกัน เมื่อมีโคดเวิร์ดที่ผิดพลาดเกินกว่าความสามารถของรหัสที่จะแก้ให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทดสอบความถูกต้องของรหัสได้ หลังจากการแก้ไขโคดเวิร์ดในตำแหน่งและจำนวนความผิดพลาดของบิตในโคดเวิร์ด ที่ได้จากสถิติความผิดพลาดที่คำนวณได้ แล้วทดสอบความเป็นไปได้ของโคดเวิร์ด ซึ่งรหัสแบบไซคลิกจะทำได้โดยการทดสอบเศษเหลือ หากมีค่าเป็น 0 ก็แสดงว่าเป็นโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ แต่หากไม่เป็น 0 ก็แสดงว่ารูปแบบความผิดพลาดที่ได้นั้นไม่ถูกต้อง ก็จะทำการพิจารณาความน่าจะเป็น ของรูปแบบความผิดพลาด ในตำแหน่งและจำนวนบิตที่ผิดพลาดใหม่ จนกว่าจะได้โคดเวิร์ดที่เป็นไปได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับกรณีจำนวนครั้งที่ทำการพิจารณา ความน่าจะเป็นของโอกาสการเกิดความผิดพลาดในแต่ละรูปแบบนั้นมากเกินไป จนอาจจะมีผลต่อ เวลาที่ต้องใช้ไป ซึ่งย่อมหมายถึง ประสิทธิภาพของรหัสที่จะลดลงด้วย ก็อาจใช้การหาค่าดัสแทนส์ของโคดเวิร์ดที่ได้รับ กับทุกโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ จากการวิจัย ซึ่งทดสอบกับข้อมูลที่เป็นภาษาไทย จะมีโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ของรหัสตั้งแต่ A1 - FB แสดงได้ดังนี้คือ

โคดเวิร์ด 161 = ก =0101000010111000
โคดเวิร์ด 162 = ข =0101000101011100
โคดเวิร์ด 163 = ข =0101000110101110
โคดเวิร์ด 164 = ค =0101001001100110
โคดเวิร์ด 165 = ต =0101001010010100
โคดเวิร์ด 166 = ฆ =0101001101110000
โคดเวิร์ด 167 = ง =0101001110000010
โคดเวิร์ด 168 = จ =0101010000010010
โคดเวิร์ด 169 = ฉ =0101010011100000
โคดเวิร์ด 170 = ช =0101010100000100
โคดเวิร์ด 171 = ช =0101010111110110
โคดเวิร์ด 172 = ฌ =0101011000111110
โคดเวิร์ด 173 = ญ =0101011011001100
โคดเวิร์ด 174 = ฎ =0101011100101000
โคดเวิร์ด 175 = ฎ =0101011111011010
โคดเวิร์ด 176 = ฐ =0101100000001000
โคดเวิร์ด 177 = ฑ =0101100010000011
โคดเวิร์ด 178 = ฒ =0101100100011110
โคดเวิร์ด 179 = ฆ =0101100111101100
โคดเวิร์ด 180 = ด =0101101000100100
โคดเวิร์ด 181 = ต =0101101011010110
โคดเวิร์ด 182 = ถ =0101101100110010
โคดเวิร์ด 183 = ท =0101101111000000
โคดเวิร์ด 184 = ธ =0101110001010000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โคดเว้ร์ด 185 = น =0101110010100010
โคดเว้ร์ด 186 = บ =0101110101000110
โคดเว้ร์ด 187 = ป =0101110110110100
โคดเว้ร์ด 188 = ผ =0101111000000101
โคดเว้ร์ด 189 = ฝ =0101111010001110
โคดเว้ร์ด 190 = พ =0101111101101010
โคดเว้ร์ด 191 = ฟ =0101111110011000
โคดเว้ร์ด 192 = ภ =0110000000100010
โคดเว้ร์ด 193 = ม =0110000011010000
โคดเว้ร์ด 194 = ย =0110000100110100
โคดเว้ร์ด 195 = ร =0110000111000110
โคดเว้ร์ด 196 = ฤ =0110001000001110
โคดเว้ร์ด 197 = ล =0110001010000101
โคดเว้ร์ด 198 = ฦ =0110001100011000
โคดเว้ร์ด 199 = ว =0110001111101010
โคดเว้ร์ด 200 = ศ =0110010000000011
โคดเว้ร์ด 201 = ษ =0110010010001000
โคดเว้ร์ด 202 = ส =0110010101101100
โคดเว้ร์ด 203 = ห =0110010110011110
โคดเว้ร์ด 204 = ฬ =0110011001010110
โคดเว้ร์ด 205 = อ =0110011010100100
โคดเว้ร์ด 206 = ฮ =0110011101000000
โคดเว้ร์ด 207 = ฯ =0110011110110010
โคดเว้ร์ด 208 = ะ =0110100001100000
โคดเว้ร์ด 209 = ั =0110100010010010
โคดเว้ร์ด 210 = า =0110100101110110
โคดเว้ร์ด 211 = ำ =0110100110000100
โคดเว้ร์ด 212 = ิ =0110101001001100
โคดเว้ร์ด 213 = ี =0110101010111110
โคดเว้ร์ด 214 = ึ =0110101101011010

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โคดเว้ร์ด 215 = ◌็ =0110101110101000
โคดเว้ร์ด 216 = ◌่ =0110110000111000
โคดเว้ร์ด 217 = ◌้ =0110110011001010
โคดเว้ร์ด 218 = ◌๊ =0110110100101110
โคดเว้ร์ด 219 = ◌๋ =0110110111011100
โคดเว้ร์ด 220 = ◌์ =0110111000010100
โคดเว้ร์ด 221 = ◌ =0110111011100110
โคดเว้ร์ด 222 = ◌ =0110111100000010
โคดเว้ร์ด 223 = ◌ =0110111111110000
โคดเว้ร์ด 224 = เ =0111000001010100
โคดเว้ร์ด 225 = แ =0111000010100110
โคดเว้ร์ด 226 = โ =0111000101000010
โคดเว้ร์ด 227 = ใ =0111000110110000
โคดเว้ร์ด 228 = ไ =0111001001111000
โคดเว้ร์ด 229 = ๅ =0111001010001010
โคดเว้ร์ด 230 = ๆ =0111001101101110
โคดเว้ร์ด 231 = ◌็ =0111001110011100
โคดเว้ร์ด 232 = ◌่ =0111010000001100
โคดเว้ร์ด 233 = ◌้ =0111010010000111
โคดเว้ร์ด 234 = ◌๊ =0111010100011010
โคดเว้ร์ด 235 = ◌๋ =0111010111101000
โคดเว้ร์ด 236 = ◌์ =0111011000100000
โคดเว้ร์ด 237 = ◌ =0111011011010010
โคดเว้ร์ด 238 = ◌ =0111011100110110
โคดเว้ร์ด 239 = ◌ =0111011111000100
โคดเว้ร์ด 240 = ๐ =0111100000010110
โคดเว้ร์ด 241 = ๑ =0111100011100100
โคดเว้ร์ด 242 = ๒ =0111100100000000
โคดเว้ร์ด 243 = ๓ =0111100111110010
โคดเว้ร์ด 244 = ๔ =0111101000111010

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โคดเวิร์ด 245 = ๕ =0111101011001000

โคดเวิร์ด 246 = ๖ =0111101100101100

โคดเวิร์ด 247 = ๗ =0111101111011110

โคดเวิร์ด 248 = ๘ =0111110001001110

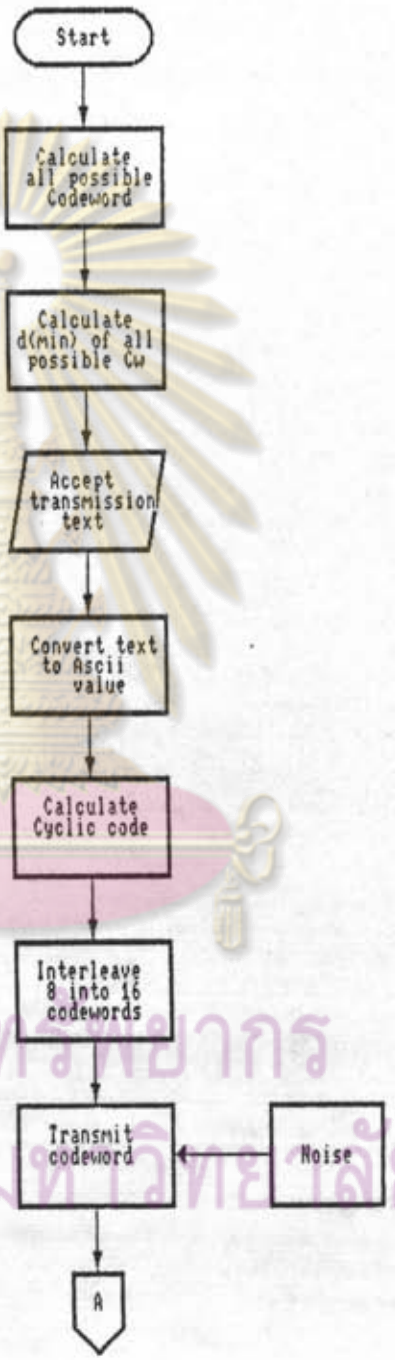
โคดเวิร์ด 249 = ๙ =0111110010111100

โคดเวิร์ด 250 = =0111110101011000

โคดเวิร์ด 251 = ๑ =0111110110101010

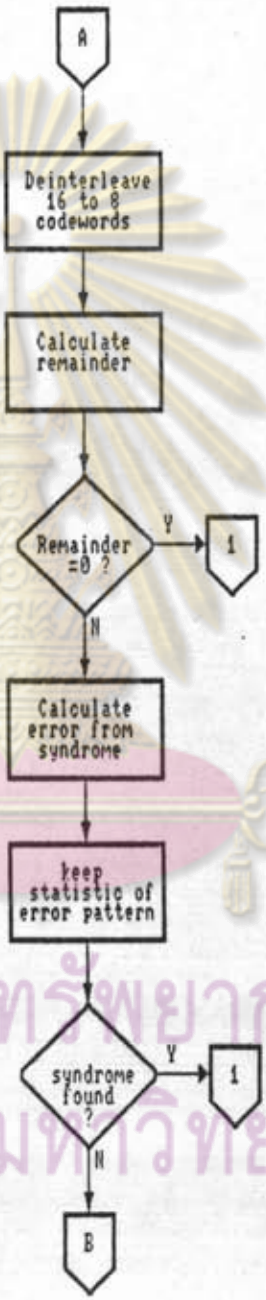
ซึ่งค่าดิสแทนส์ที่น้อยที่สุดของคู่โคดเวิร์ดที่ได้รับกับโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ แสดงว่าโคดเวิร์ดที่ได้รับ ใกล้เคียงกับโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้นั้นมากที่สุด และมีโอกาสที่จะเป็น โคดเวิร์ดที่ถูกต้องได้มากที่สุดด้วย โดยค่าดิสแทนส์ที่ได้นี้จะต้องน้อยกว่า ค่าดิสแทนส์ที่น้อยที่สุดของรหัส ซึ่งเมื่อได้โคดเวิร์ดที่ใกล้เคียงกับโคดเวิร์ดที่ได้รับมากที่สุดแล้ว ก็สามารถนำโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้นั้น ไปคำนวณเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องต่อไป แต่ในกรณีที่ดิสแทนส์นั้นมากกว่า หรือเท่ากับค่าดิสแทนส์ที่น้อยที่สุดของรหัส ซึ่งจากตัวอย่างโคดเวิร์ดของรหัสภาษาไทยข้างต้นนี้ ดิสแทนส์ระหว่างคู่โคดเวิร์ดที่ได้รับ กับโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ ไม่ควรมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 3 หรือมีจำนานโคดเวิร์ดที่เป็นไปได้ ใกล้เคียงกับโคดเวิร์ดที่ได้รับมากกว่า 1 โคดเวิร์ดขึ้นไป ซึ่งในกรณีนี้ อาจจะกลับไปคำนวณหาความน่าจะเป็นของรูปแบบความผิดพลาดใหม่ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง หรือแฟลกไว้ว่าโคดเวิร์ดที่ได้รับมานั้น เกิดความผิดพลาด และไม่สามารถแก้ให้ถูกต้องได้ เพื่อให้ตัวถอดรหัสได้จัดการกับโคดเวิร์ดตัวถัดไป

การถอดรหัสโดยใช้วิธีดังกล่าวนี้ จะทำให้ได้ข้อมูลที่ส่งมา ครบทุกโคดเวิร์ด และเหมาะกับการส่งข้อมูลที่ไม่มีการส่งใหม่ โดยตัวรับจะได้รับข้อมูลเสมอ แต่ก็มีโอกาสที่ ข้อมูลที่ได้จากวิธีดังกล่าวนี้อาจจะผิดพลาดได้ หากความผิดพลาดนั้นไปตรงกับ โคดเวิร์ดอื่นที่เป็นไปได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ตัวรับได้รับข้อมูลแล้วการได้อ้างอิงจากข้อมูลที่ส่งมาย่อมดีกว่า การไม่ได้รับข้อมูลเลย ซึ่งขั้นตอนของการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส แสดงได้ดังผังงานที่ 4.1



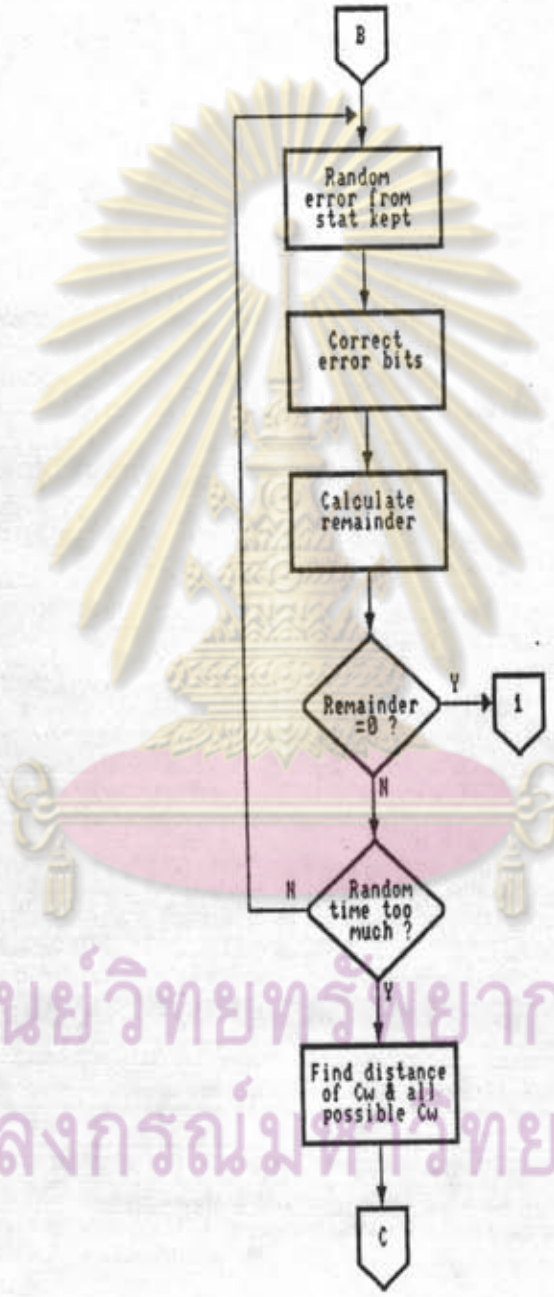
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แสดงผังงานการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส



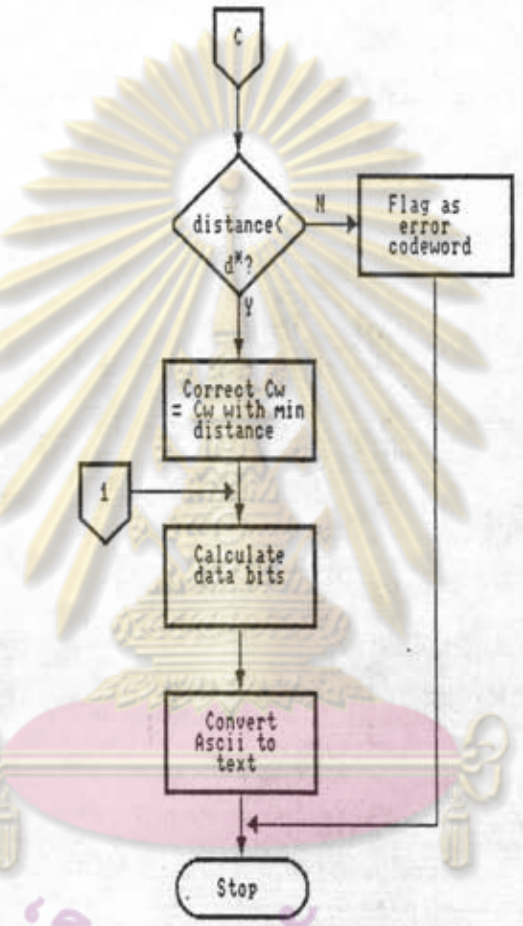
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แสดงผังงานการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แสดงผังงานการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แสดงผังงานการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ความผิดพลาดของรหัส (ต่อ)

นอกจากการใช้วิธีเพิ่มประสิทธิภาพของรหัสโดยวิธีดังกล่าวแล้ว สำหรับข้อมูลที่เป็นข้อความหรือตัวอักษรนั้น หลังจากการถอดรหัสแล้ว อาจจะตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่ถูกตรวจพบ หรือไม่สามารถแก้ให้ถูกต้องได้จากการใช้รหัส โดยอาจจะถูกตรวจพบและแก้ไขให้ถูกต้องได้ โดยการตรวจสอบกับดิกชันนารี (Dictionary) ซึ่งสร้างเป็นฐานข้อมูล หรือตรวจสอบความถูกต้องของรูปประโยค และความหมายของข้อความ เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง และเชื่อถือได้เพิ่มมากขึ้น