รายการอ้างอิง

[1] Hecht, D. L. 2001 March Printed embedded data graphical user interfaces. IEEE Computer. 34 (3): 47-55.

[2] L. G. Shapiro and G. C. Stockman, 2001. Computer Vision [E-Book] U.S.A.: Prentice-Hall.

[3] D.S. Bloomberg et al. 2000. Self-Clocking Glyph Shape Codes [E-Book]: Patent and Trademark Office, Washington, D.C., US patent.

[4] Hecht, D.L.1994 Embedded Data Glyph Technology for Hardcopy Digital Documents, Proc. Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts III, SPIE—The Int'l Soc. Optical Engineering. 2171: 341-352.

[5] Scott E. Umbaugh. 2000. Computer Vision and Image Processing [E-Book]: A Practical Approach Using CVIP Tools; Prentice-Hall International.

[6] Palo Alto Research Center. Data Glyphs®: 2001. Embedding Digital Data Technology [Online]. Palo Alto Research Center. Available From: http://www.dataglyphs.com [2001,June 21]

[7] Zebra Technologies Corporation: 2000. Bar codes, bar code printers, software, and Thermal printer [Online]. Zebra Technologies Corporation. Available From: http://www.zebra.com [2001, June,21]

[8] Russ Adams: 1995. 2-Dimensional Bar Code [Online]. Adams Communications. Available From: http://www.adams1.com/pub/russadam/stack.html [2002,November 20]

[9] Anil K. Jain, Fellow, IEEE, Robert P.W. Duin, and Jianchang Mao, Senior Member, 2000 January; IEEE. Statistical Pattern Recognition: A Review. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1(1): 4-37.

[10] George Paschos. 2001 June Perceptually Uniform Color Spaces for Color Texture Analysis: An Empirical Evaluation. IEEE Transactions On Image Processing, 10(6): 932-937

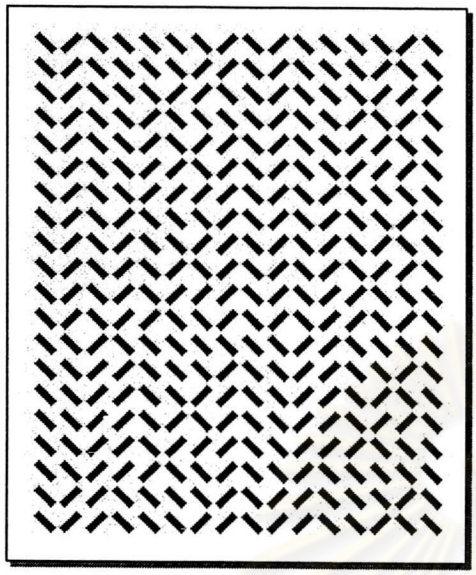
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

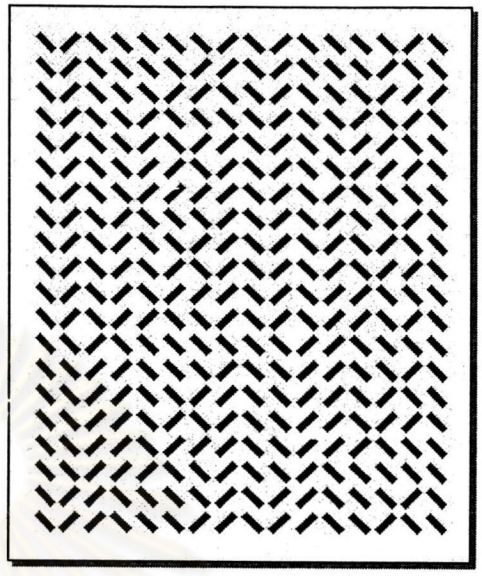
ภาคผนวก ก
ตัวอย่างข้อมูลภาพที่ใช้ทดสอบเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์

ในการเปรียบเทียบการบันทึกข้อมูลของ ดาต้ากลิปส์จำเป็นจะต้องมีตัวอย่างรูปภาพข้อมูลที่ได้พิมพ์และนำเข้าโดยเครื่องพิมพ์และเครื่องกราดภาพ ที่กำหนดไว้ แล้วจึงทำการเรียกใช้โปรแกรมในการถอดข้อความ ทำการถอดข้อความที่ฝังแนบมากับรูปภาพดังกล่าว ออกมา โดยตัวอย่างในการทดลองการทำงานดังกล่าว มีลักษณะแตกต่างกันทั้งรูปแบบและระดับเฉดสีตามที่ได้กำหนดไว้เพื่อใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้ โดยมีรูปแบบดังที่แสดงดังนี้

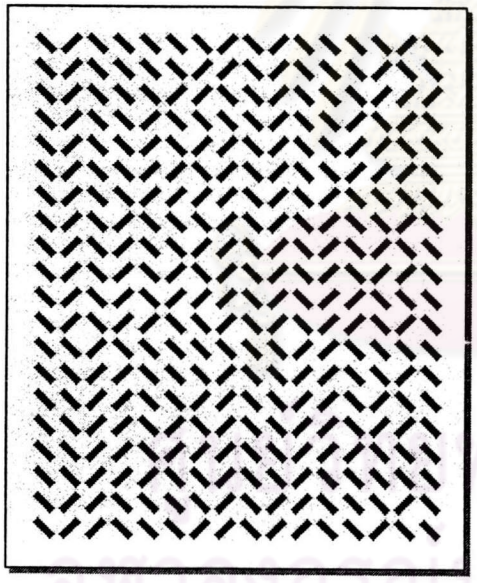
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



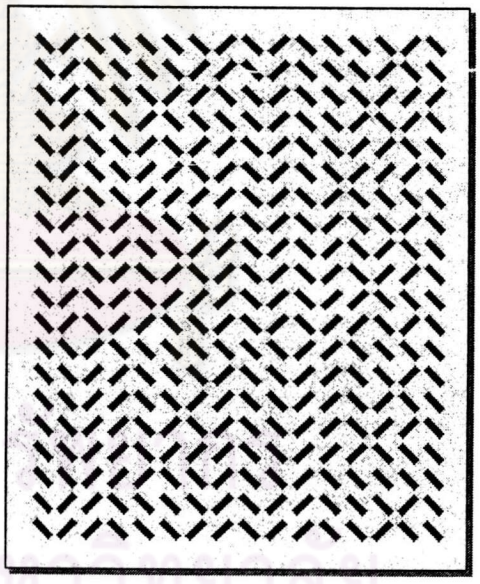
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 5%

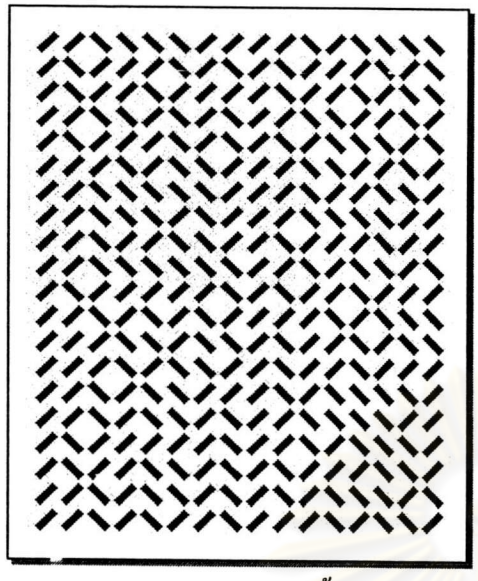


(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 10%

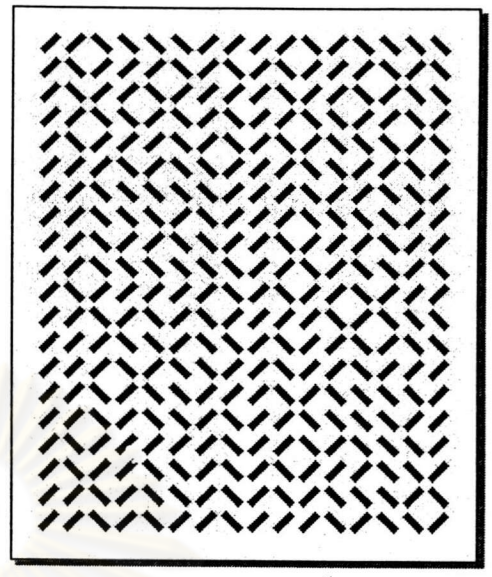


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 20%

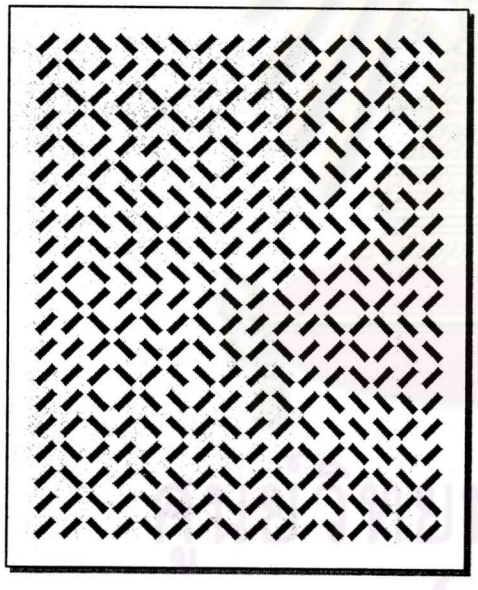
รูปที่ 6.1 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของ ซีร็อกซ์ ด้วยข้อมูลอักษรภาษาอังกฤษ



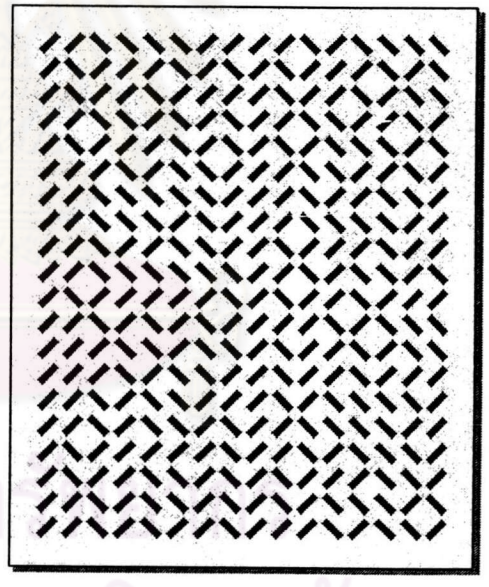
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
คาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
คาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 5%

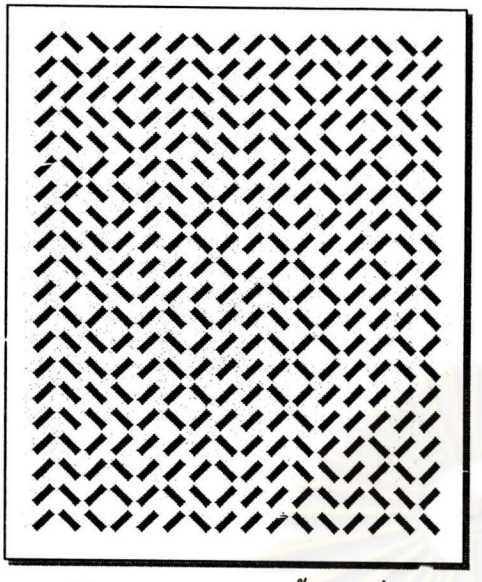


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
คาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 10%

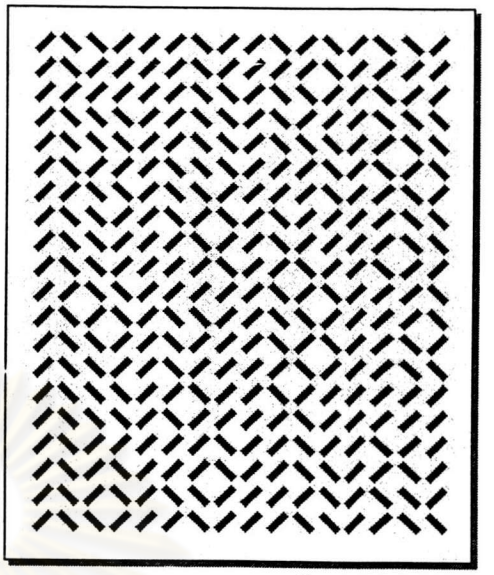


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบของ
คาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของซีร็อกซ์เพิ่ม
สัญญาณรบกวน 20%

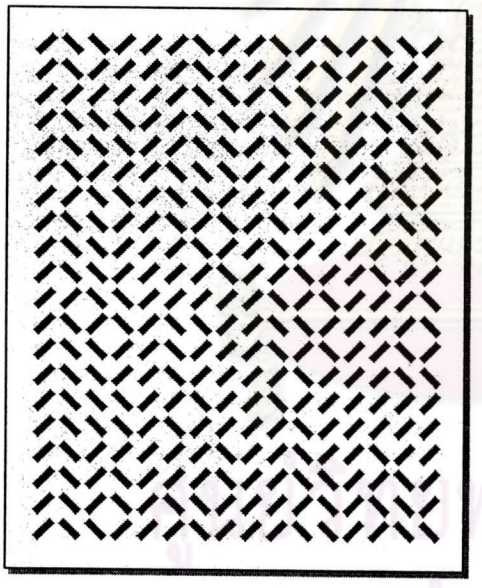
รูปที่ 6.2 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ คาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะของ ซีร็อกซ์ ด้วยข้อมูลอักษรภาษาไทย



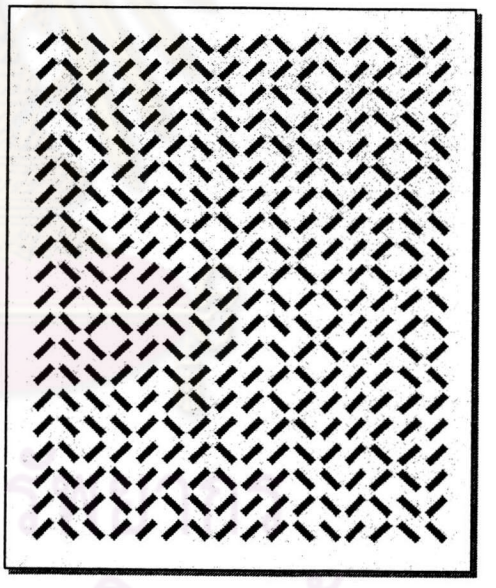
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

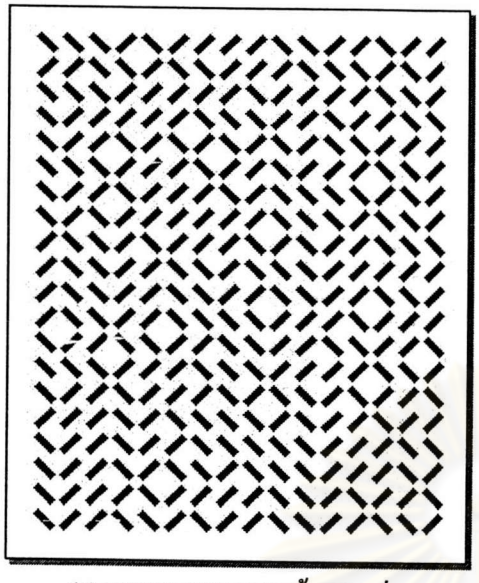


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

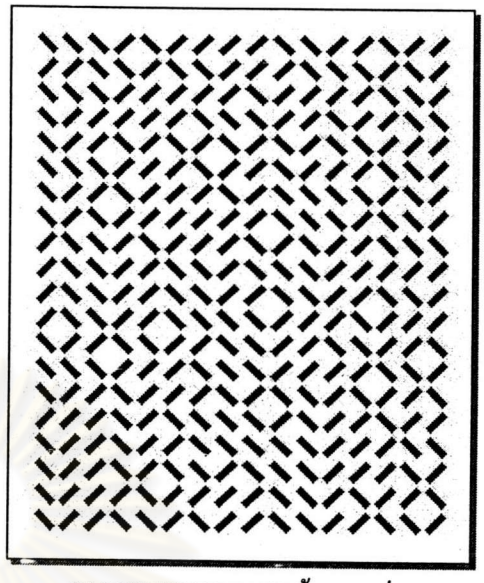


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

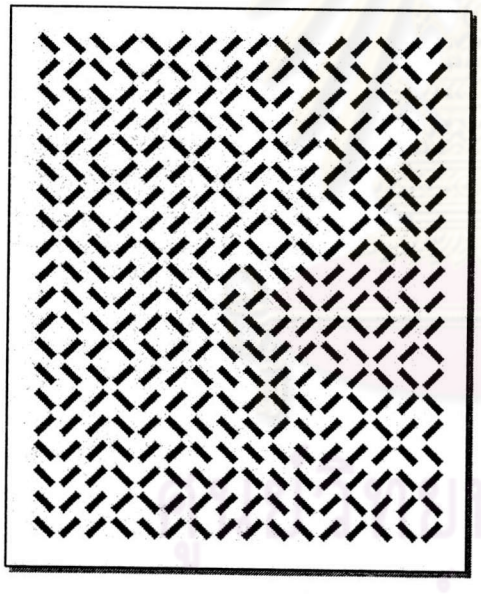
รูปที่ 6.3 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรภาษาอังกฤษ



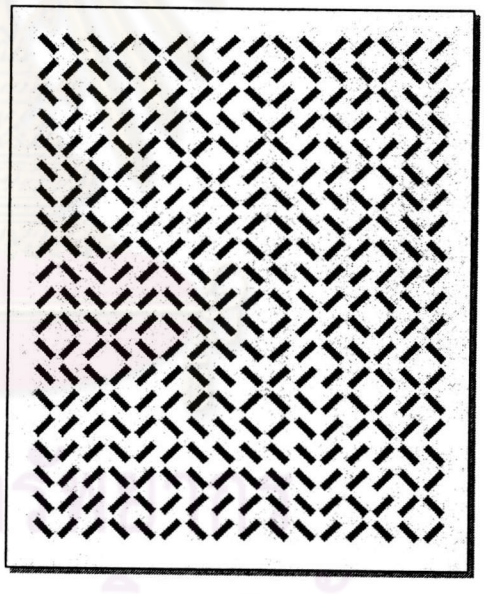
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

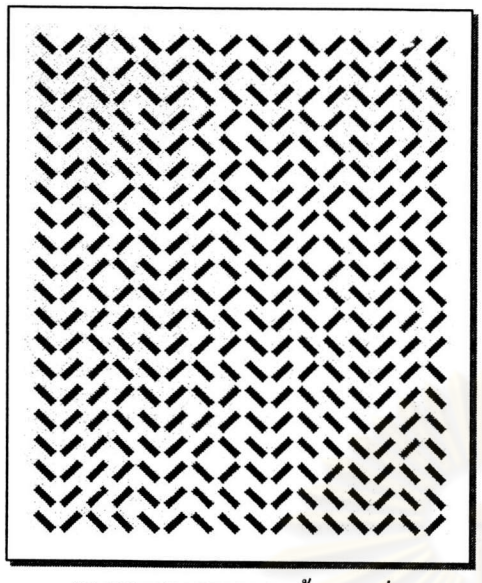


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

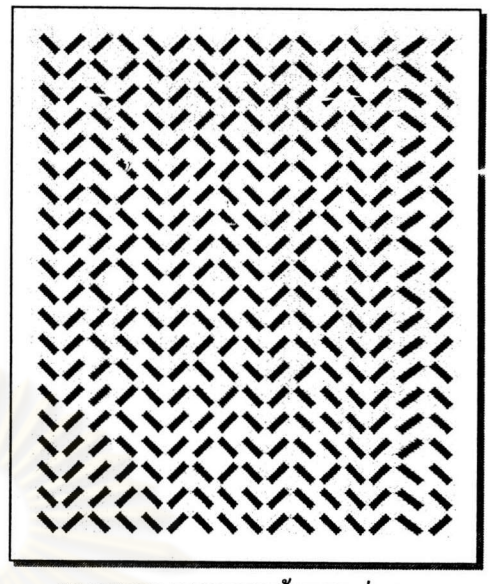


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

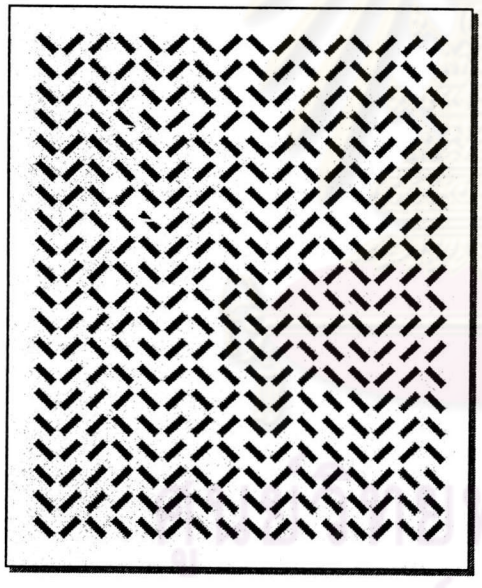
รูปที่ 6.4 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 2 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรภาษาไทย



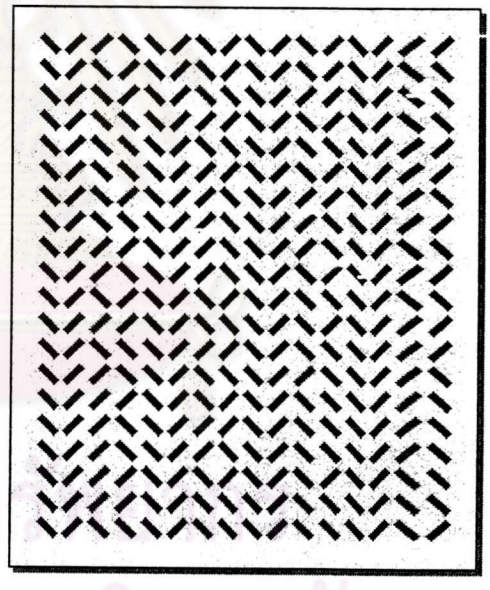
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

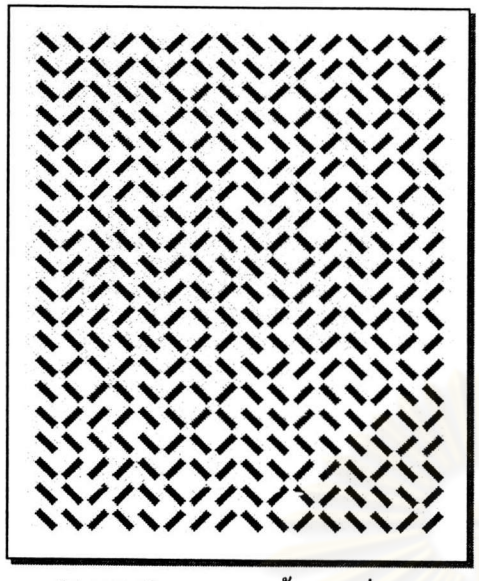


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

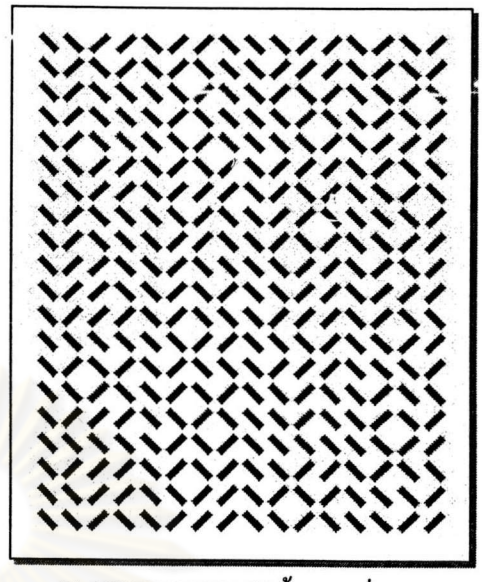


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

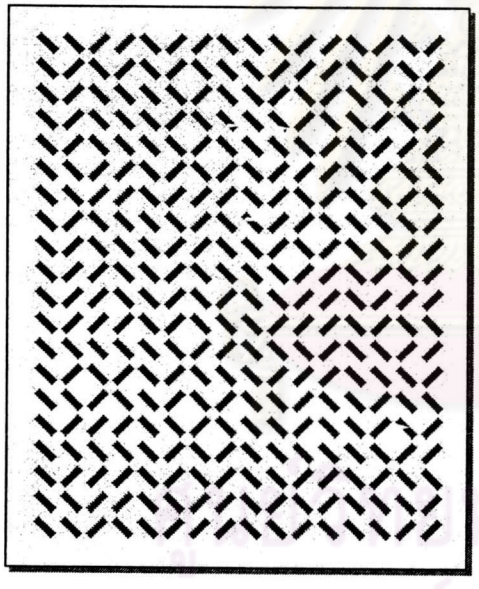
รูปที่ 6.5 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



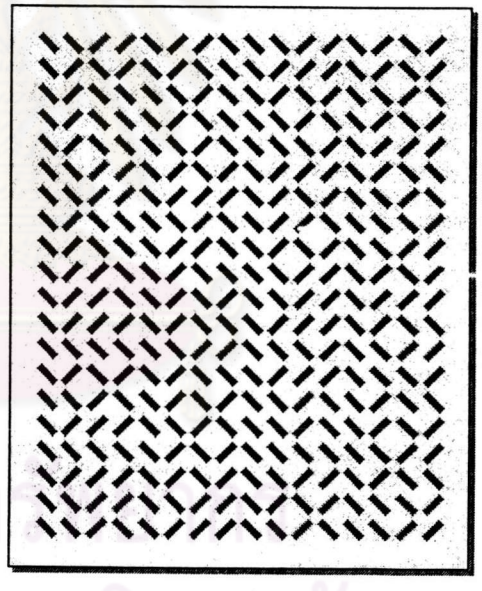
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 4 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

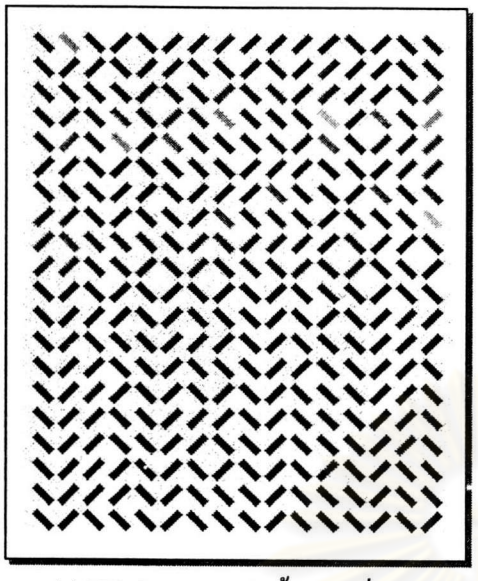


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

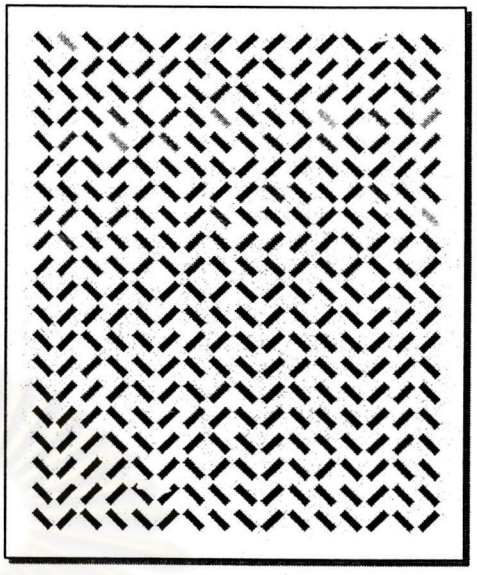


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

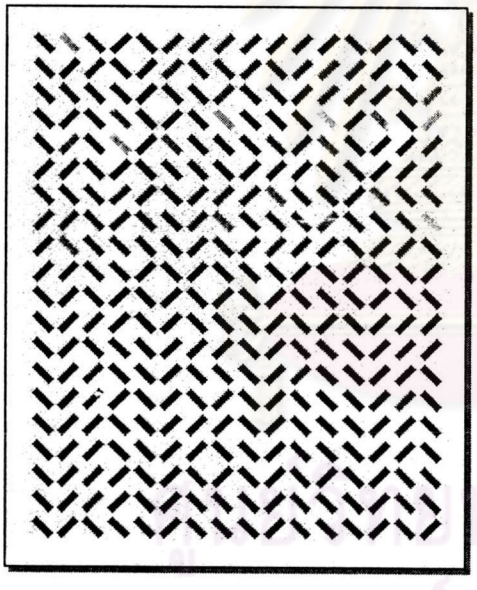
รูปที่ 6.6 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรไทย



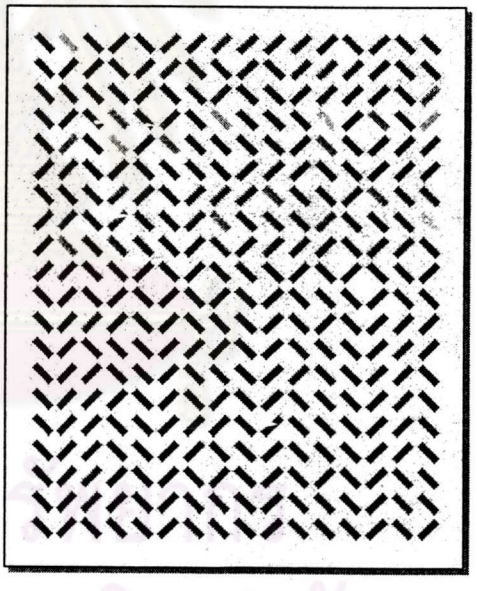
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 8 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

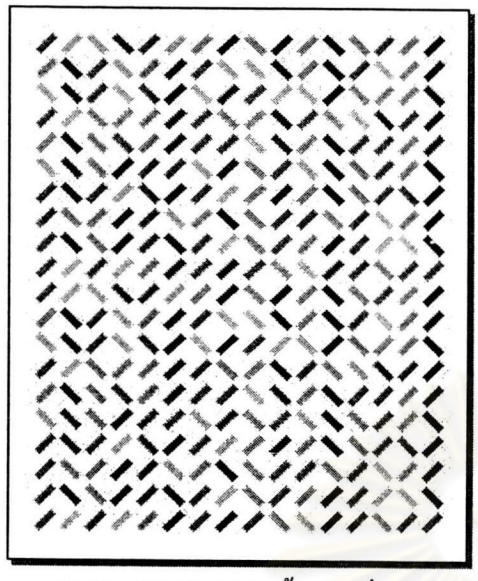


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

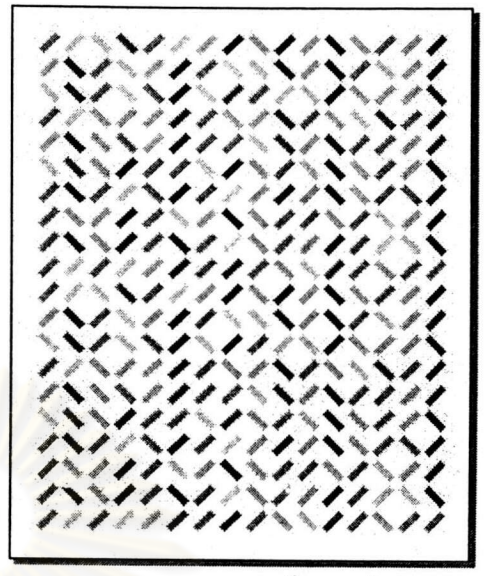


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

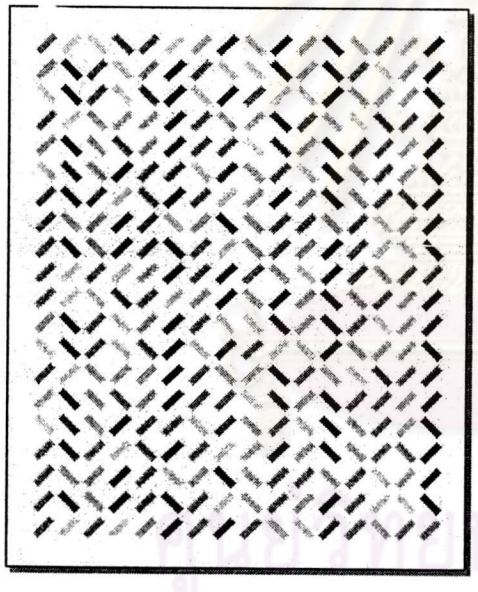
รูปที่ 6.7 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 8 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



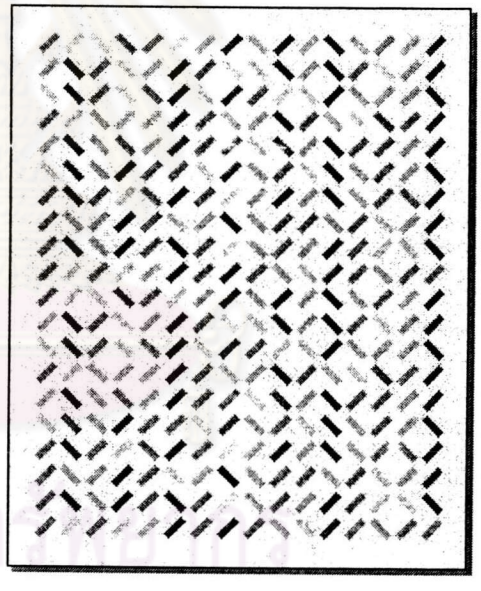
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 8 ระดับเฉดสี



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกเฉด 8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

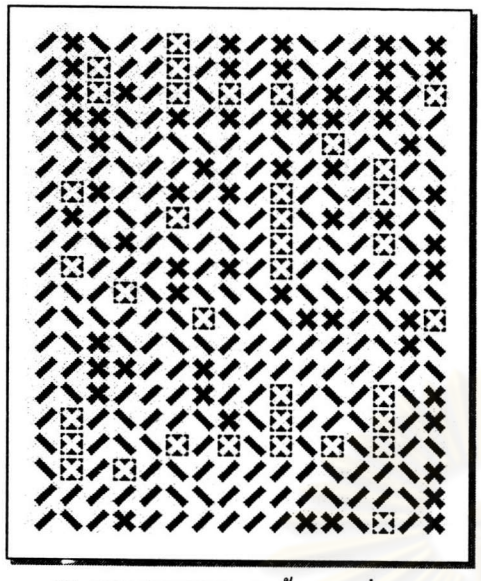


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

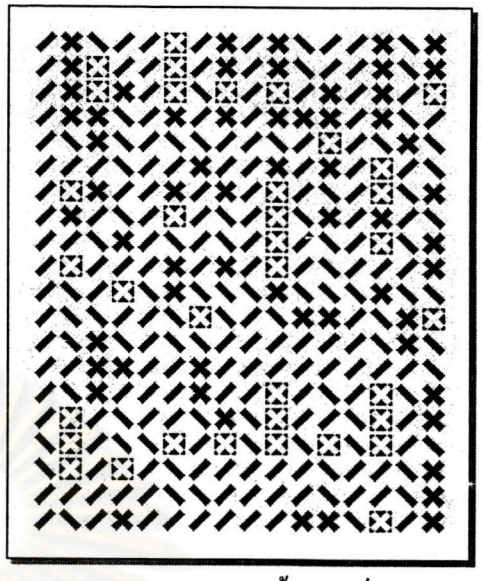


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกระดับเฉดสี8 ระดับเฉดสีเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

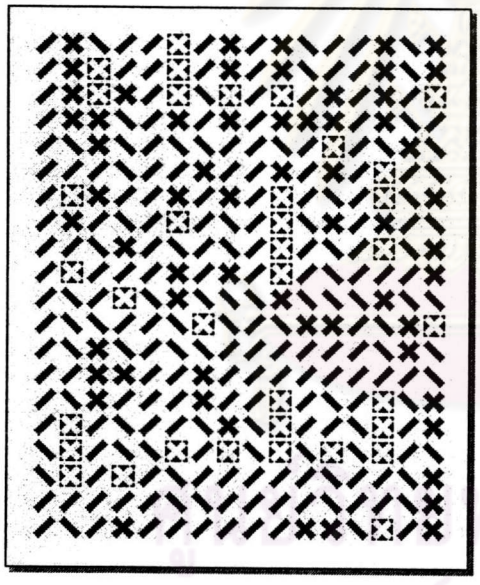
รูปที่ 6.8 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 8 ระดับเฉดสี ด้วยข้อมูลอักษรไทย



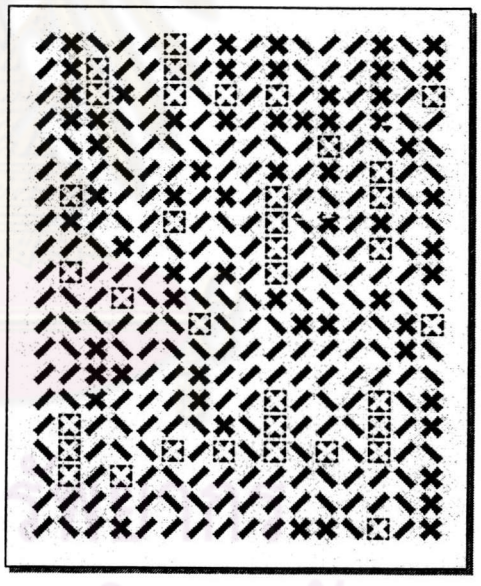
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

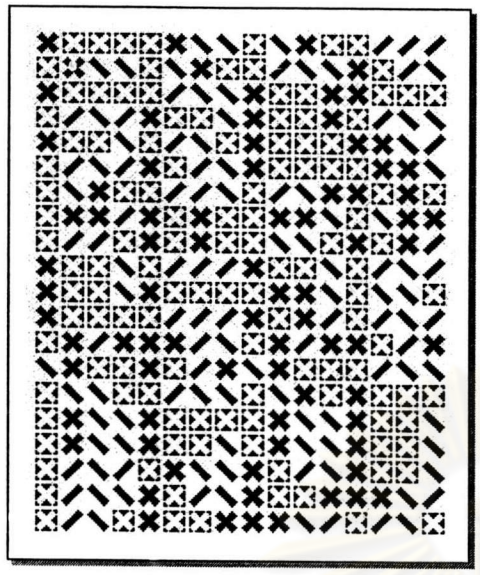


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

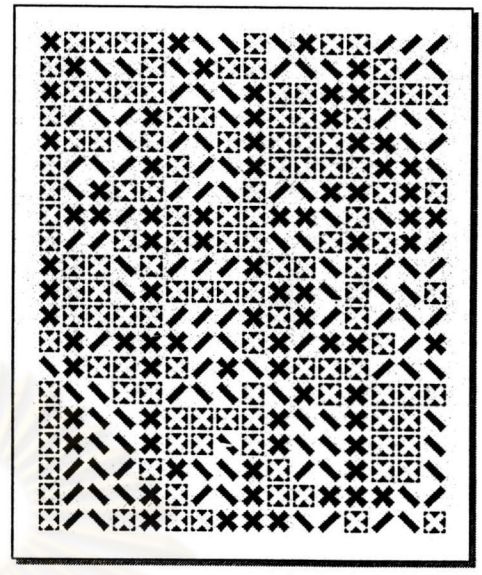


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

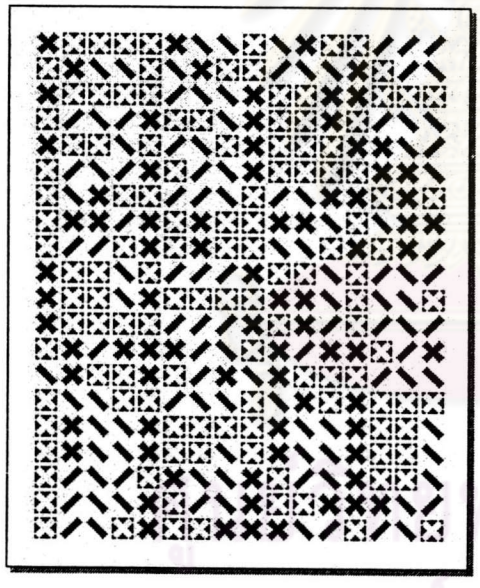
รูปที่ 6.9 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



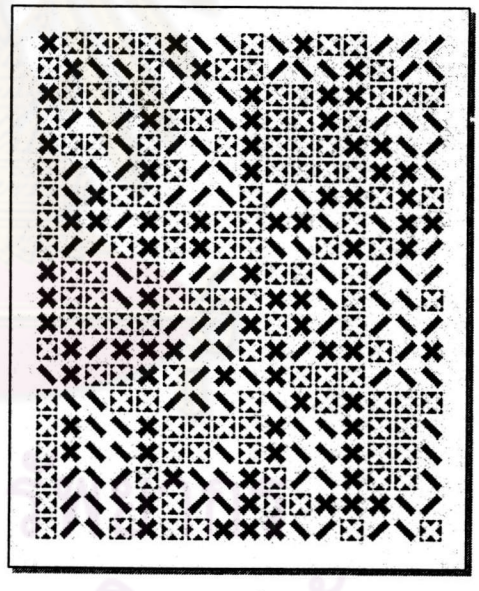
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

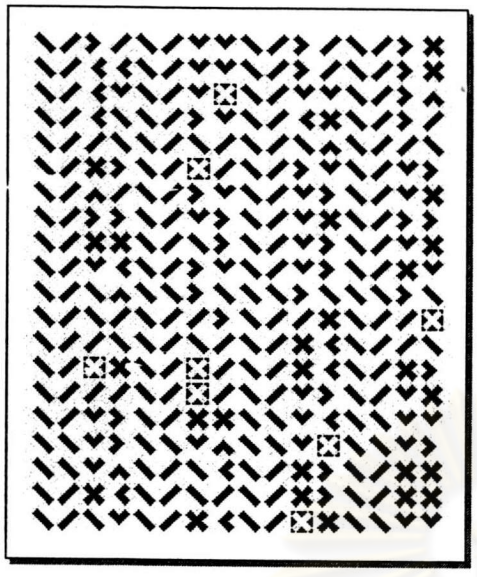


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

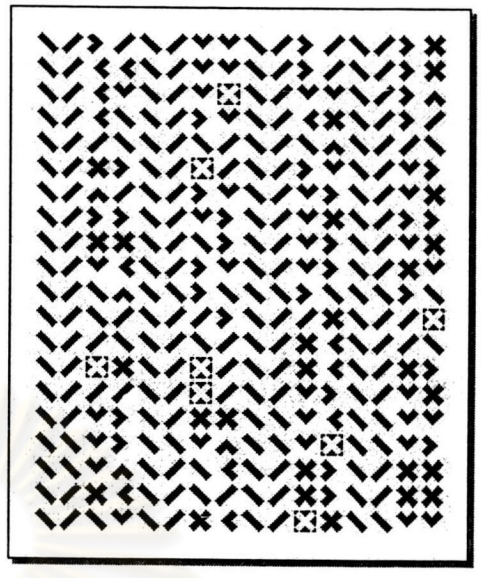


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

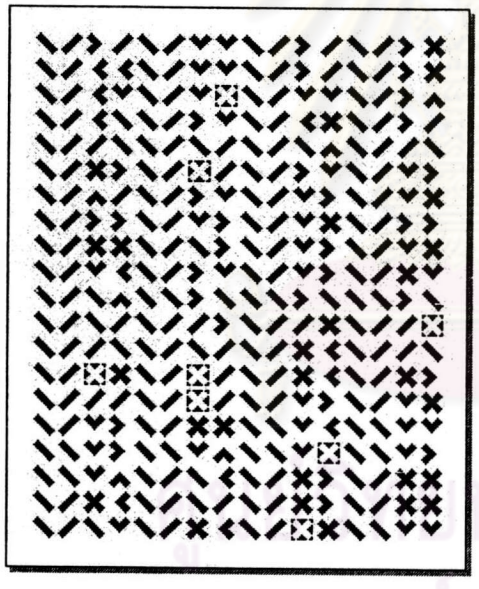
รูปที่ 6.10 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรไทย



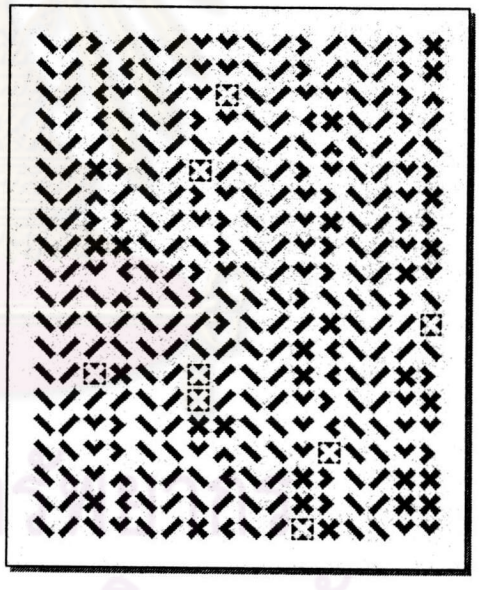
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

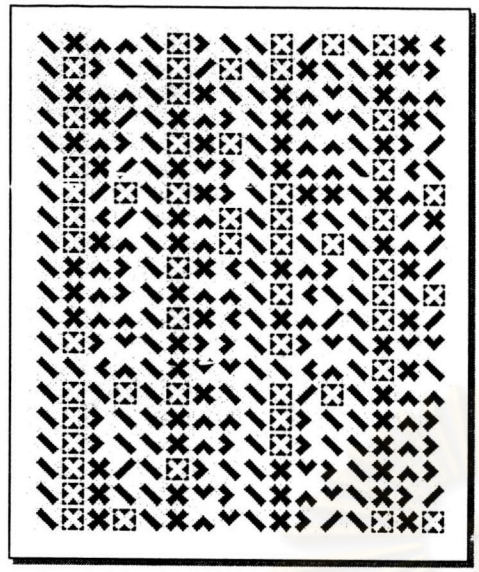


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

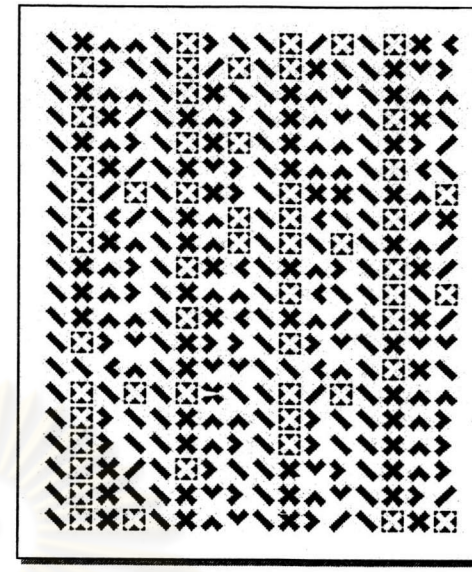


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

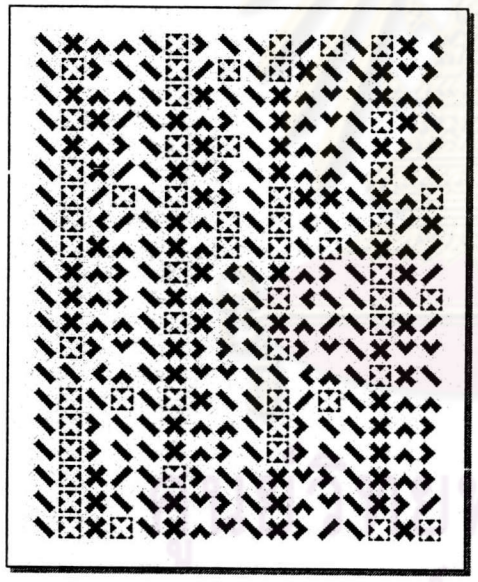
รูปที่ 6.11 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



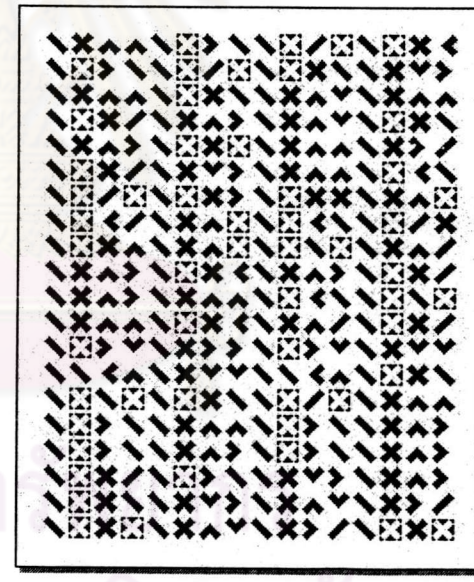
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

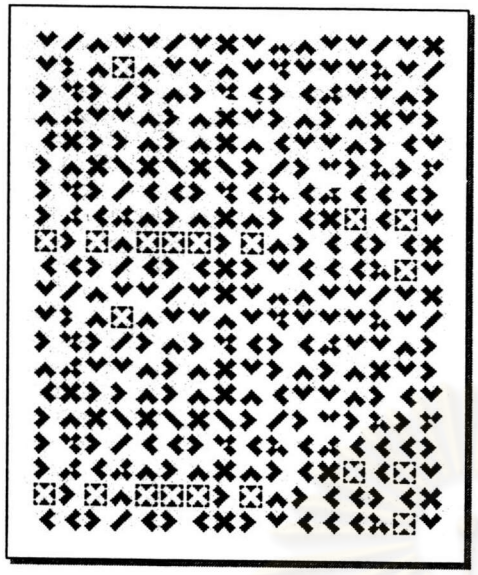


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

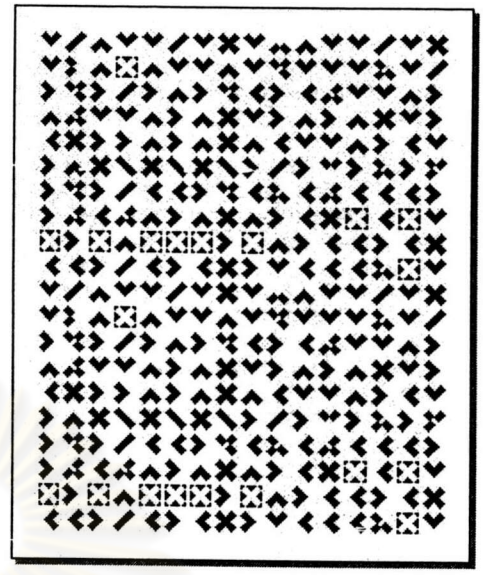


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

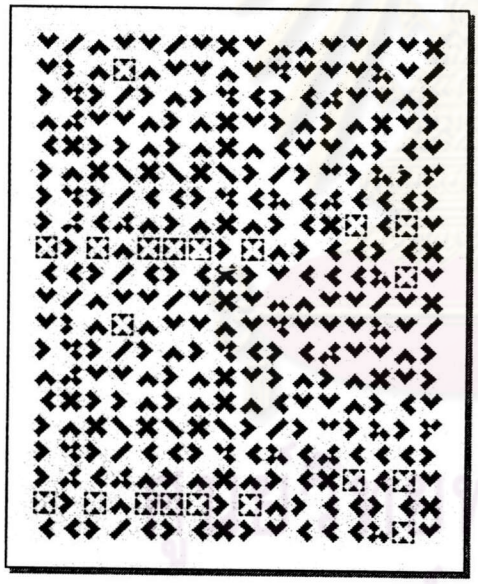
รูปที่ 6.12 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 8 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรไทย



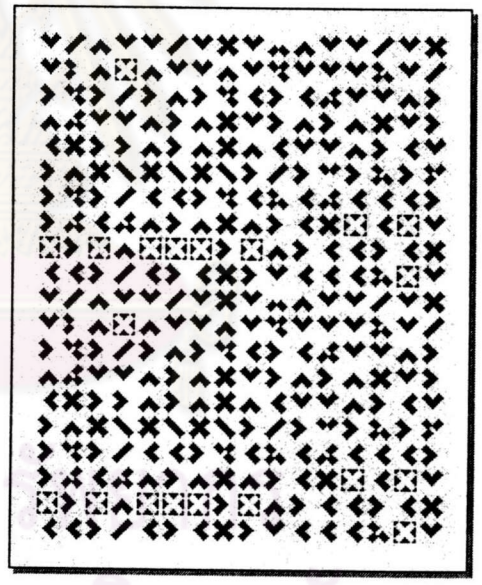
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

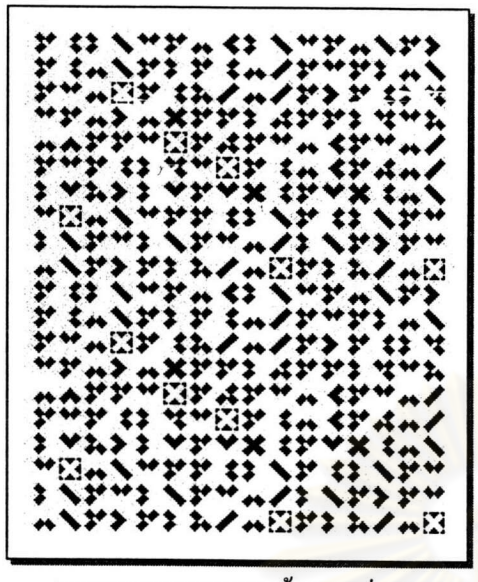


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

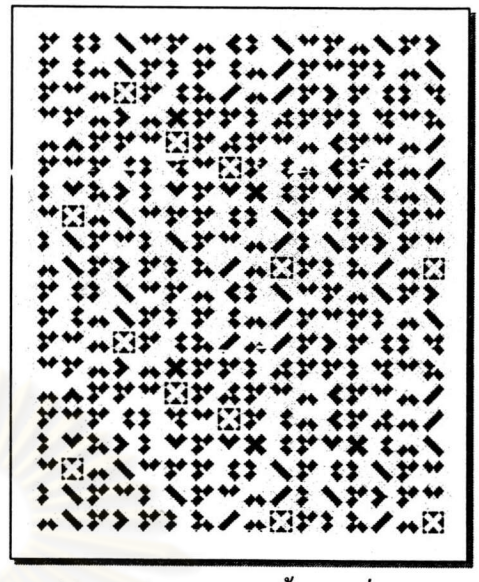


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

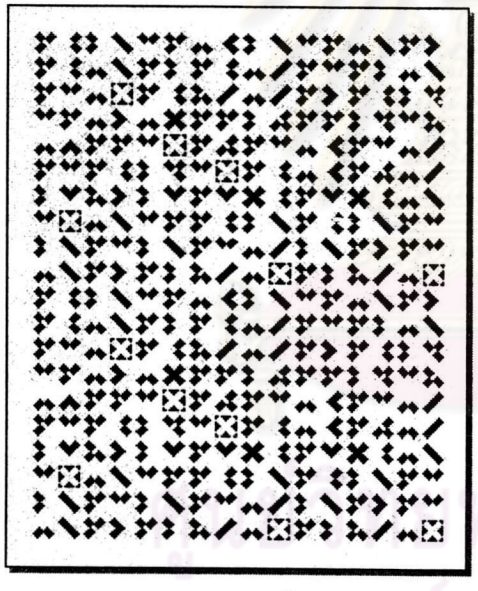
รูปที่ 6.13 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



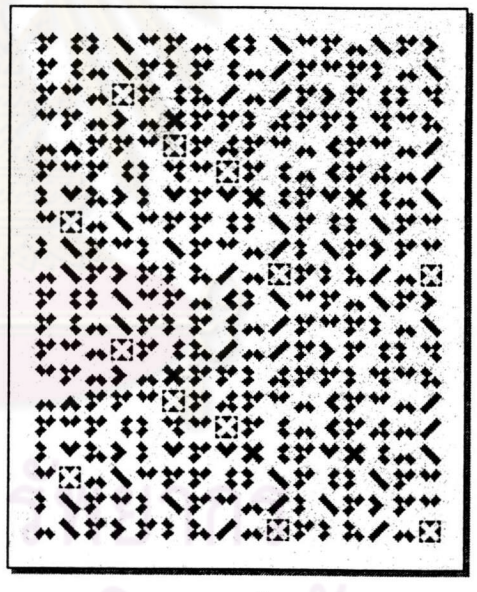
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

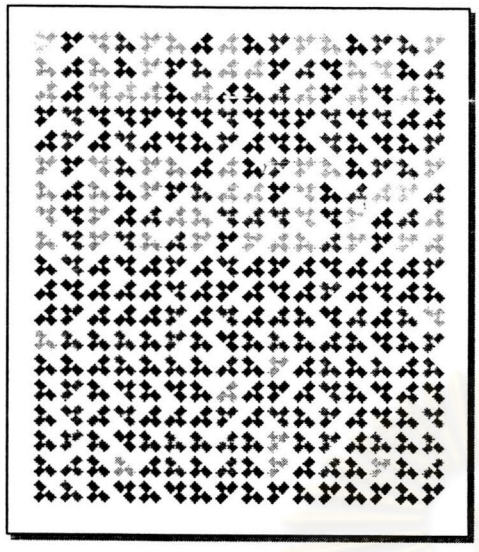


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

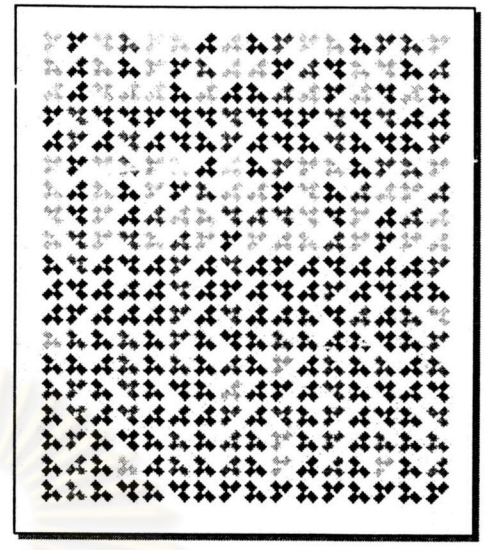


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

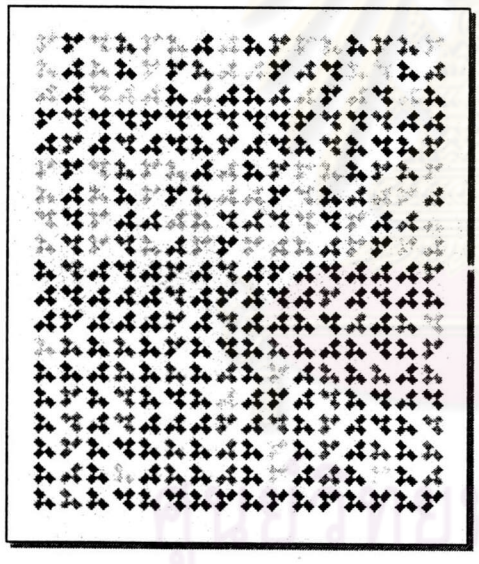
รูปที่ 6.14 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามสัญลักษณ์ 16 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรไทย



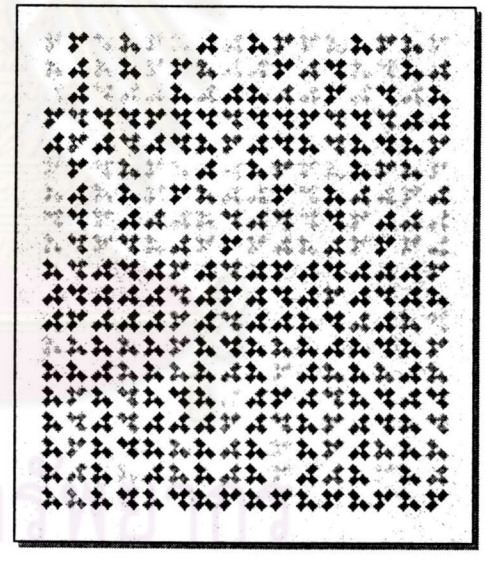
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

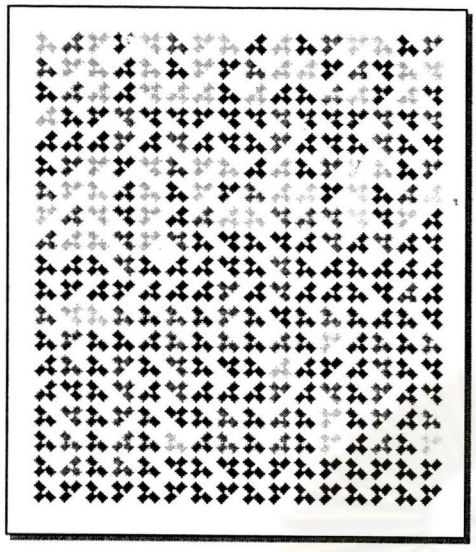


(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 10%

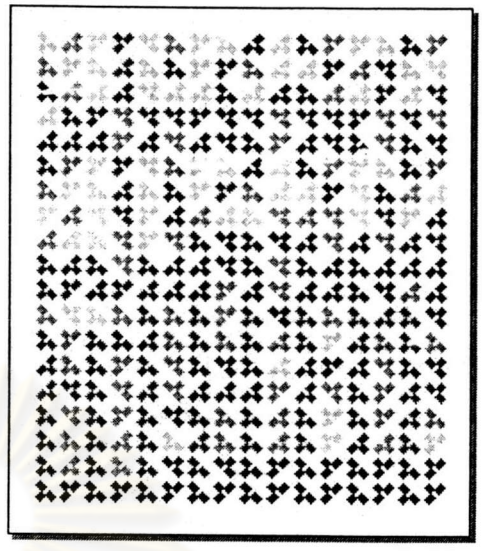


(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

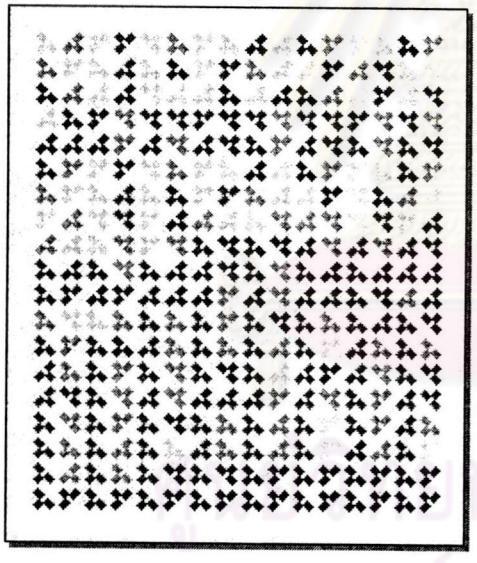
รูปที่ 6.15 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรอังกฤษ



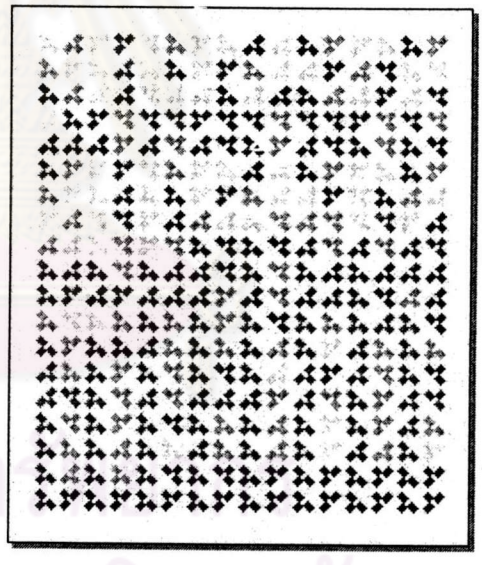
(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ



(ข) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 5%



(ค) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 10%



(ง) ภาพแสดงภาพเอกสารต้นแบบแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ เพิ่มสัญญาณรบกวน 20%

รูปที่ 6.16 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ทำการทดลอง แบบ ต้นแบบของ ดาต้ากลิปส์ตามต้นแบบลักษณะแบ่งแยกตามระดับเฉดสี 4 ระดับและสัญลักษณ์ 4 รูปแบบ ด้วยข้อมูลอักษรไทย

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์

การประชุมทางวิชาการวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 7 (The 7th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC2003)) เมื่อวันที่ 28-30 ตุลาคม 2546 สถานที่จัด มหาวิทยาลัยบูรพา ในบทความเรื่อง Density Improvement of Printed Embedded Data Technology โดยผู้แต่งคือ สุวรัฐ สตันยสุวรรณ และ รศ.ดร. สาธิต วงศ์ประทีป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงความหนาแน่นของเทคโนโลยีการฝังข้อมูลลงบนกระดาษ
DENSITY IMPROVEMENT OF PRINTED EMBEDDED DATA TECHNOLOGY

สุวรฐ สตันยสุวรรณ[1] และ รศ.ดร. สาธิต วงศ์ประทีป[2]
Suwarot Satanyasuwan[1] and Assoc.Prof.Dr. Sartid Vongpradhip[2]
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Phayathai Rd., Bangkok, Thailand 10330
E-mail: 43705920@student.chula.ac.th[1], Sartid.V@Chula.ac.th[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอ วิธีการปรับปรุงคุณภาพการฝังข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้การฝังข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์ได้แก่ เครื่องพิมพ์ที่มีทั่วไปในปัจจุบันและการอ่านค่ากลับโดยใช้เครื่องแสกนเนอร์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดสามารถหาได้ทั่วไป วิธีการปรับปรุงคุณภาพการฝังข้อมูลทำได้โดยเพิ่มรูปร่างในการรู้จำรูปแบบและเพิ่มจำนวนการรู้จำสี อีกทั้งหาค่าที่เหมาะสมในการวางระยะห่างระหว่างตัวสัญลักษณ์ เมื่อทำการทดสอบโดยนำพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องและปริมาณข้อมูลผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำมาเสนอมีความถูกต้องสูงและสามารถเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ฝังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เทคโนโลยี ดาต้ากลิปส์, การฝังข้อมูล, การรู้จำรูปภาพ

Abstract

This research objective was proposing a method for improving quality of embedded printed data. General equipments used for embedding data process and retrieving data process were printer and scanner respectively. The quality of embedded printed data was improved by adding more patterns, representative of colors and selecting appropriate space between symbols. To verify the method, parameters from old method and new method were collected and compared. The result was shown that the method proposed had high accuracy and the quantity of data embedded was increased.

Keyword: Data Glyphs Technology, Data Embedded, Image Recognition

1. บทนำ

การทำงานกับระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนั้นมีการทำงานที่หลากหลายด้านมากกว่าในอดีต อีกทั้งอุปกรณ์ต่างๆยังได้รับการพัฒนาให้ใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์อีกด้วย งานด้านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interfaces) ซึ่งเป็นงานที่จัดการด้านการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้งาน ดังนั้นงานด้านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการพัฒนา ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ให้สามารถเข้าถึงได้ในทุกๆรูปแบบการใช้งาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเข้าใจ การง่ายต่อผู้ใช้ และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้นอกเหนือขอบเขตแค่การแสดงผลในหน้าจอคอมพิวเตอร์

สื่อสิ่งพิมพ์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของงานวิจัย สื่อสิ่งพิมพ์ ซึ่งเป็นสื่อบันทึกที่มีจุดเด่นที่ มนุษย์เราสามารถทำความเข้าใจกับข้อมูลที่ถูกบันทึกในกระดาษได้โดยตรง ไม่ว่าจะเป็น ภาพ หรือข้อมูลที่เป็นตัวอักษร จุดด้อยของสื่อชนิดนี้คือ ปริมาณข้อมูลที่ถูกบันทึกมีปริมาณที่ไม่มาก และ เครื่องคอมพิวเตอร์ ไม่สามารถที่จะทำความเข้าใจได้ครบถ้วนสมบูรณ์ หากสามารถบันทึกข้อมูลที่ทำให้ คอมพิวเตอร์สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ลงไปแฝงพร้อมกับข้อมูลที่มนุษย์สามารถทำความเข้าใจได้ด้วย ก็จะเป็นการเพิ่มความสามารถของสื่อบันทึกชนิดนี้

ปัจจุบันนี้มีงานวิจัยต่างๆ ในต่างประเทศหลายงานวิจัยที่สามารถใช้สื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ ทำงานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์

ซึ่งสิ่งพิมพ์เหล่านี้ก็ถือว่าเป็นสื่อชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการทำงานดังกล่าวได้ อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่าย จากแนวความคิดนี้จึงทำให้เกิดแนวคิดการฝังข้อมูลอิเลคทรอนิกส์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์ร่วมกับข้อมูลสิ่งพิมพ์ (Printed embedded data)[1] ขึ้น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ มีการแฝงข้อมูลที่เป็น อิเลคทรอนิกส์ ร่วมกับข้อมูลที่มนุษย์สามารถทำความเข้าใจได้เอาไว้ได้ด้วยกัน

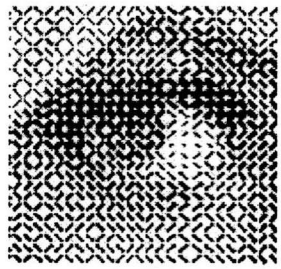
จากแนวความคิดนี้ ได้มีการประยุกต์เข้ากับ ลักษณะการทำงานของ รหัสแท่งสองมิติ (Two-dimension barcode)[7] และเทคโนโลยี ดาต้ากลิปส์ (Data glyphs)[2],[3],[4],[5],[6] ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของเทคโนโลยี ดาต้ากลิปส์ ซึ่งในปัจจุบันยังมีข้อด้อยบางประการในด้านความสามารถ ในการเก็บข้อมูล หรือ ความหนาแน่นของข้อมูล ที่ยังมีความสามารถในการจุข้อมูลที่ต่ำ ไม่สามารถทัดเทียมกับสื่อเก็บข้อมูลอิเลคทรอนิคส์แบบอื่น อีกทั้งยังจำเป็นที่ต้องใช้กระดาษ เครื่องพิมพ์และเครื่องแสกนเนอร์ที่มีคุณภาพสูง ในการอ่านและบันทึกข้อมูล ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะปรับปรุงความหนาแน่นของเทคโนโลยีการฝังข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์โดยอ้างอิงดาต้ากลิปส์นี้ เป็นลักษณะในการปรับปรุงคุณภาพ

สำหรับในส่วนงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการออกแบบเทคโนโลยีการฝังข้อมูลผสมผสานกับการบีบอัดข้อมูลและการประมวลผลภาพ โดยทำการปรับปรุงเทคโนโลยีการฝังข้อมูลบนสื่อสิ่งพิมพ์ให้มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลที่มีความหนาแน่นมากขึ้นและมีความถูกต้องสูงเมื่อทำการอ่านค่าที่บันทึกกลับ และหลังจากทำการปรับปรุงเทคโนโลยีการฝังข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์แล้วจะมีผลให้สื่อสิ่งพิมพ์ดังกล่าวมีความสามารถในการทำงานติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถของสื่อสิ่งพิมพ์ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีปริมาณความหนาแน่นสูงได้เพิ่มเติมมากขึ้นด้วย

2. การบันทึกและอ่าน ข้อมูล ในรูปแบบ ดาต้ากลิปส์

การบันทึกหรือการฝังข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์ด้วยเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์นั้นมีรูปแบบที่แตกต่างจาก รหัสแท่งสองมิติโดยทั่วไป เนื่องจากลักษณะของตัวข้อมูลที่บันทึกลงไปและรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังใช้อุปกรณ์ในการอ่านที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยการทำงานทั้งทางด้านการบันทึก และ การอ่านค่าข้อมูลนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องที่มีคุณภาพสูงในการ บันทึกค่า และ อ่านค่า เพื่อให้มีความถูกต้องและแม่นยำ

(ก) ภาพที่มีข้อมูลดาต้ากริปส์ขนาด ทั่วไป



(ข) ภาพที่มีข้อมูลดาต้ากริปส์ขยายที่ 600 จุดต่อนิ้ว²

รูปที่ 1. ภาพจากต้นฉบับและจากเครื่องแสกนเนอร์ที่ความละเอียด 600 จุดต่อตารางนิ้ว[1]

ลักษณะของภาพที่มีข้อมูลดาต้ากลิปส์ฝังอยู่นั้นมีรูปแบบที่แนบไปพร้อมกับเอกสารดังแสดงในรูปที่ 1. (ก) โดยจะเป็นรูปแบบที่มีสัญลักษณ์เส้นตรงเอียงซ้ายและขวาดังแสดงในรูปที่ 1. (ข) มีความหนแน่นที่แตกต่างกัน เน้นหนักตามรูปภาพที่กำหนดเป็นพื้นที่ที่ทำการบันทึกแนบข้อมูลอื่นๆลงไป โดยการบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์นั้นตัวสัญลักษณ์จะทำหน้าที่เป็นค่าของเลขฐานสอง ที่มี 0 และ 1 เป็นค่าของข้อมูลที่ทำการบันทึกลงไปแนบเอาไว้กับข้อมูลที่มีอยู่บนสื่อสิ่งพิมพ์เอง โดยข้อมูลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นเพียงข้อมูลจำพวกตัวอักษร ข้อมูลความลับ เป็นต้น

การบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์นั้นจำเป็นต้องพิมพ์ตัวข้อมูลด้วยความคมชัดสูง และ ยังต้องใช้เครื่องแสกนเนอร์อ่านข้อมูลภาพกลับมาที่ความละเอียด 300 จุดต่อตารางนิ้ว เป็นขั้นต่ำ หากกำหนดความละเอียดต่ำกว่านั้นในการอ่านข้อมูลจะทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อน ซึ่งทำให้เกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลที่สูง ด้านรูปแบบการบันทึกข้อมูล ด้วยเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ยังมีการบันทึกข้อมูลจำพวก ค่าตรวจสอบความถูกต้อง (Error checking bit) และค่าบ่งบอกจุดเริ่มต้นและจบในการอ่านข้อมูลไว้ด้วย ทำให้หากเกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าข้อมูล กรณีที่เล็กน้อยก็ไม่กระทบหรือส่งผลต่อ ข้อมูลที่บันทึกหรือฝังมาทั้งหมด อีกทั้งยังสามารถแก้ไขให้ถูกต้องได้อีกด้วย[1]

3. การปรับปรุงคุณภาพเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์

การปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มความสามารถในการจุข้อมูลของเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ เพื่อให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ การประมวลผลภาพเอกสารก่อนการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์

ภาพเอกสารและแบ่งแยกภาพเอกสารสู่การประมวลผลดิจิตอล โดยรายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

3.1 การประมวลผลภาพเอกสารก่อนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ภาพเอกสารเพื่อหาตำแหน่งสัญลักษณ์ข้อมูลอ้างอิงตำแหน่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การประมวลผลก่อนหน้า การปรับค่าระดับสีภาพเอกสาร และ การแบ่งส่วนภาพและการคำนวณหาของข้อมูลสัญลักษณ์

3.1.1 การประมวลผลก่อนหน้า

ภาพเอกสารที่มีข้อมูล ดาต้ากลิปส์ฝังอยู่ ที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์มีคุณสมบัติที่เป็นปัญหาต่อการวิเคราะห์ภาพอยู่หลายประการ นอกจากมีการเพี้ยนของความเข้มแสงของภาพและการเพี้ยนทางเรขาคณิตแล้ว ยังมีความเปรียบต่าง (Contrast) ต่ำและมีสัญญาณรบกวนอยู่มาก ก่อนการวิเคราะห์ภาพข้อมูลดังกล่าวก่อนหาข้อมูลที่ฝังแนบมา งานวิจัยนี้จึงขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter) [5]

ส่วนปัญหาความเข้มของภาพข้อมูลที่สว่างไม่เท่ากันนั้นส่งผลให้ค่าระดับเทาของสัญลักษณ์ดาต้ากลิปส์ในภาพแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากัน โดยสัญลักษณ์ดาต้ากลิปส์ที่อยู่ไกลจากจุดที่กระทบแสงจากเครื่องแสกนเนอร์ จะมีสีมืดกว่าสัญลักษณ์ดาต้ากลิปส์ที่อยู่ใกล้จุดกระทบแสงมากกว่า ดังนั้นหากแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งที่หาจากภาพ เมื่อตัดบริเวณพื้นหลังในส่วนที่สว่าง ออกไปได้ ก็อาจทำให้บริเวณที่เป็นสัญลักษณ์ดาต้ากลิปส์ที่อยู่ใกล้จุดกระทบแสงถูกตัดออกไปด้วย

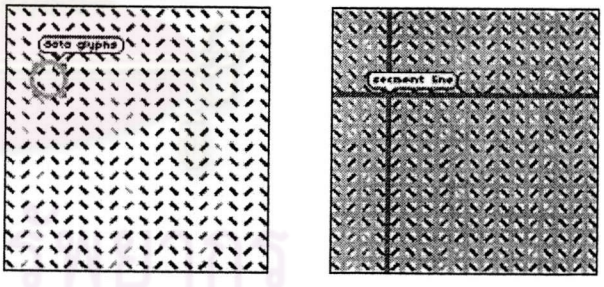
3.1.2 การปรับค่าระดับสีภาพเอกสาร

การปรับค่าระดับสีของภาพเอกสาร สาเหตุที่ต้องทำการปรับค่าระดับสีของภาพเอกสารนั้น เพื่อสร้างมาตรฐานให้กับชุดภาพเอกสารเพราะว่าค่าสีที่กำหนดมาจากแต่ละเครื่องแสกนเนอร์หรือแต่ละเครื่องพิมพ์นั้นจะมีความแตกต่างกันซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละเครื่อง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการปรับค่าระดับสีของภาพเอกสารนั้นๆ เข้าสู่ค่ามาตรฐานโดยการวัดค่าสีในภาพเอกสารที่ได้มาแล้วทำการปรับปรุงค่าดังกล่าวนั้นทั้งภาพเอกสาร ขั้นตอนการปรับค่าสีทำได้โดยการวัดปริมาณสีของภาพเอกสารที่ไม่มีความสำคัญ นั้นคือสีของพื้นหลังของภาพเอกสาร ซึ่งในงานวิจัยนี้คือสีขาว จากนั้นทำการตรวจสอบและวิเคราะห์หาค่าในแต่ละจุดของภาพ เพื่อทำการวัดค่าเฉลี่ยของสีขาวทั้งชุดภาพเอกสาร จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวเลขที่ใกล้เคียงค่าตัวแทนของสีขาว ของภาพเอกสารนั้นๆ ซึ่งหลังจากได้ค่าดังกล่าวแล้วจะนำมาทำการหาค่าระยะห่างในแต่ละจุดของพื้นหลังภาพเอกสารและค่าสีที่เป็นสัญลักษณ์ที่มีความสำคัญ แล้วทำการปรับเข้าสู่ค่ามาตรฐานในที่สุด ผลที่ได้คือ ค่าสีขาวที่มีความถูกต้องมากขึ้น

3.1.3 การแบ่งส่วนภาพและการคำนวณตำแหน่งสัญลักษณ์

การวิเคราะห์ภาพเอกสารเริ่มจากการอ่านภาพที่แสกนเนอร์ทำการอ่านเข้ามาดังแสดงในรูปที่ 2. (ก) แล้วนำมาทำการแยกบรรทัดโดยใช้เทคนิควิธี โปรเจคชั่นแนวนอน (Horizontal projection) และ การโปรเจคชั่นแนวดิ่ง (Vertical projection) ดังแสดงในรูปที่ 2. (ข) การทำโปรเจคชั่นแนวนอนนั้น ทำได้โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าจากค่าหนึ่งไปสู่ค่าใดๆก็ตามที่โดยที่สันนิษฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นและมีการคำนวณหาค่าวัดระยะห่างระยะเส้นบรรทัดว่ามีค่าเพียงพอ และถ้าค่าโปรเจคชั่นแนวนอนลดลงจนถึงค่าที่ยอมรับได้ อีกครั้งหรือใกล้เคียงในขอบเขตที่กำหนดถึงเป็นสิ้นสุดการทำงานในแนวนอนนั้น ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนทั่วภาพเอกสารก็จะได้บรรทัดตามที่ต้องการ



(ก) ภาพข้อมูลดาต้ากริปส์ ก่อนทำการโปรเจคชั่น

(ข) ภาพข้อมูลดาต้ากริปส์ หลังโปรเจคชั่นทั้ง 2 แนว

รูปที่ 2. ภาพแสดงการแบ่งภาพตามแนวทฤษฎี โปรเจคชั่นแนวนอน และ การโปรเจคชั่นแนวดิ่ง

หลังจากที่ได้บรรทัดตัวสัญลักษณ์แล้ว จึงทำการโปรเจคชั่นแนวนิ่ง เพื่อตัดสัญลักษณ์ออกเป็นส่วนๆ โดยทำเช่นเดียวกับการทำโปรเจคชั่นแนวนอน แตกต่างกันแค่เพียงทำตามแนวดิ่งของภาพเอกสาร ก็จะสามารถตัดภาพเป็นคอลัมน์ตัวสัญลักษณ์ได้ ทำให้เราสามารถแบ่งแยกภาพเอกสารออกเป็นส่วนๆได้ หลังจากนั้น จึงทำ การนำส่วนย่อยของภาพเอกสารไปทำการแบ่งแยกจัดจำพวกต่อไป

3.2 การตรวจสอบวิเคราะห์และแบ่งแยกภาพเอกสาร

การตรวจสอบวิเคราะห์และแบ่งแยกภาพเอกสารนี้แบ่งเป็น2 ขั้นตอนคือ การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญลักษณ์ และ การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญลักษณ์

การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญลักษณ์ภายในภาพเอกสารย่อยนั้นสามารถทำได้โดยการนำภาพเอกสารย่อยที่ได้หลังจากการตัดแบ่งตามการโปรเจคชั่นแนวนอนและการโปรเจคชั่นแนวนิ่งมาทำการเปรียบเทียบกับชุดบล็อกที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา

โดยที่การวิเคราะห์รูปแบบนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของลักษณะเวคเตอร์ (Vector) ซึ่งตามหลักการแล้วนั้น จะใช้การแบ่งแยกลักษณะ โดยใช้ การถ่วงน้ำหนักระยะห่างแบบยูคลีดเดียน (Euclidean distance) ในการแบ่งแยกและบ่งชี้ถึงรูปแบบของสัญลักษณ์นั้นๆ

รูปแบบของสัญลักษณ์ที่ไม่รู้ค่าในการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มของสัญลักษณ์ทั้งหมด โดยที่สัญลักษณ์ที่ยังไม่รู้ค่าจะถูกกำหนดให้เป็น รูปแบบ K และ รูปแบบ K จะถูกกำหนดค่าเมื่อระยะห่างแบบยูคลีดเดียนระหว่าง รูปแบบ K และชุดรูปแบบ ที่มีค่าน้อยที่สุด ที่ K

$$WED(k)-\sum_{i=1}^{N}\frac{\left(f_i f_i^{(k)}\right)^2}{\left(\varsigma_i^{(k)}\right)^2} \qquad \ldots (1)$$

ที่ซึ่ง f_i แสดงถึง รูปแบบสัญลักษณ์ที่ไม่รู้ค่ารูปแบบที่ตำแหน่ง i^{th}, $f_i^{(k)}$ และ $\varsigma_i^{(k)}$ จะแสดงถึง ลักษณะและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของรูปแบบสัญลักษณ์ K ที่ตำแหน่ง i^{th} และ N แสดงถึงผลรวมจำนวนลักษณะรูปแบบทั้งหมด

เมื่อทำการตรวจสอบครบถ้วนบล็อกย่อยแล้ว ค่าความถูกต้องจะถูกส่งกลับมา โดยที่ค่าความถูกต้องของการเปรียบเทียบเอกสารย่อยกับกลุ่มบล็อกที่สร้างขึ้นจะมีค่าที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเลือกค่าความถูกต้องที่มีค่ามากที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนแสดงถึงรูปแบบที่ถูกต้องที่เป็นตัวแทนภาพย่อยเอกสารนั้นๆได้ ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกภาพเอกสารย่อยที่มีในระบบ ก็จะได้ค่าตัวแทนภาพย่อยเอกสารทั้งหมดที่มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับบล็อกรูปแบบแต่ละรูปแบบโดยครบถ้วน

3.2.2 การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะสี

การวิเคราะห์สีในงานวิจัยนี้จะทำโดย การแบ่งกลุ่มสี โดยการแบ่งเริ่มด้วยขั้นตอนวิธีเคมีนอะกอริธึม (K mean Algorithm) เป็นตัวทำการปรับค่าหาค่าเฉลี่ยให้ในแต่ละกลุ่มที่ได้มาจากภาพเอกสารย่อยแต่ละภาพ หลังจากได้ค่าเฉลี่ยเบื้องต้นพื้นที่ทำการปรับแล้ว จึงทำการวิเคราะห์และจัดกลุ่มตามค่าเฉลี่ยของกลุ่มดังกล่าว

หากค่าสีดังกล่าวอยู่ในขอบเขตที่มีความสำคัญ ก็จะทำการบันทึกค่าดังกล่าวไว้เพื่อหาค่าเฉลี่ย ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกจุดบนภาพเอกสารย่อย ก็จะได้กลุ่มข้อมูลของชุดสีทั้งหมดบนภาพเอกสาร แล้วจึงนำมาทำขั้นตอนการหา ค่าเปลี่ยนสีในกลุ่มย่อยต่างๆ ตามค่าสีอีกที โดยค่าเฉลี่ยเริ่มต้น จะทำการ สุ่มขึ้นมาจากกลุ่มดังกล่าว เป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นจึงทำการ ปรับจนได้ค่าที่ถูกต้องและจัดกลุ่มของภาพเอกสารย่อยตามลำดับ

4. การทดลองและผลทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ให้มีความสามารถในการบรรจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นด้วยวิธีการทางการคำนวณและใช้การรู้จำรูปภาพและเฉดสีในการเพิ่มความสามารถ การทดสอบทำโดยการใส่ค่าข้อมูลลักษณะเดียวกันในลักษณะสิ่งแวดล้อมเดียวกัน ทั้งเนื้อกระดาษ ความละเอียดในการพิมพ์ และความละเอียดของภาพเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์แบบมาตรฐานเดิมที่ยังไม่ได้รับการพัฒนากับเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นแล้ว

ตารางที่ 1.(ก.) แสดงค่าความถูกต้องในการอ่านค่าจากภาพเอกสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลต้นฉบับแบบตัวอักษรต่อตัวอักษร(เมื่อระยะห่างของสัญลักษณ์มีค่าน้อยที่สุด) ในกรณีการใช้รูปแบบ

จำนวนรูปแบบ	2 รูปแบบ	4 รูปแบบ	8 รูปแบบ	16 รูปแบบ
ความถูกต้อง*	100.0%	100.0%	96.5%	90.1%

** ความถูกต้องในการอ่านค่าจากภาพเอกสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลต้นฉบับแบบตัวอักษรต่อตัวอักษร*

ตารางที่ 1.(ข.) แสดงค่าความถูกต้องในการอ่านค่าจากภาพเอกสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลต้นฉบับแบบตัวอักษรต่อตัวอักษร(เมื่อระยะห่างของสัญลักษณ์มีค่าน้อยที่สุด) ในกรณีการใช้ระดับเฉดสี

จำนวนระดับสี	1 เฉดสี	2 เฉดสี	4 เฉดสี	8 เฉดสี
ความถูกต้อง*	100.0%	100.0%	98.5%	94.5%

** ความถูกต้องในการอ่านค่าจากภาพเอกสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลต้นฉบับแบบตัวอักษรต่อตัวอักษร*

วิธีการปรับปรุงความสามารถของเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ในงานวิจัยนี้มี 3 วิธีคือ วิธีแรกคือการเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์แบ่งแยกสีโดยไล่ตามระดับสีขาวดำโดยแบ่งออกเป็นระดับสีต่างๆ ที่สามารถยอมรับได้ โดยงานวิจัยนี้นำเสนอระดับสีขาวดำออกเป็น 2 ระดับ 4 ระดับ และ 8 ระดับเพื่อนำมาแทนค่าตัวข้อมูลให้มีความสามารถในการทดแทนค่าได้เพิ่มเติมขึ้น ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน แบ่งออกเป็นระดับต่างๆ ที่แตกต่างกัน 40% ของระดับสีขาวดำ 20% ของระดับสีขาวดำและ 5% ของระดับสีขาวดำ

ตารางที่ 2.(ก.) แสดงค่าความหนาแน่นของข้อมูลจากภาพเอกสารคิดเป็นไบต์ต่อตารางนิ้ว(เมื่อระยะห่างของสัญลักษณ์มีค่าน้อยที่สุด) ในกรณีการใช้รูปแบบ เปรียบเทียบที่ความละเอียดเดียวกัน

จำนวนรูปแบบ	2 รูปแบบ	4 รูปแบบ	8 รูปแบบ	16 รูปแบบ
ความหนาแน่น	64 bits	128 bits	256 bits	512 bits
อัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้น (%)	0.00%	100.00%	200.00%	400.00%

ตารางที่ 2.(ข.) แสดงค่าความหนาแน่นของข้อมูลจากภาพเอกสารคิดเป็นไบต์ต่อตารางนิ้ว(เมื่อระยะห่างของสัญลักษณ์มีค่าน้อยที่สุด) ในกรณีการใช้เฉดสี เปรียบเทียบที่ความละเอียดเดียวกัน

จำนวนระดับสี	1 เฉดสี	2 เฉดสี	4 เฉดสี	8 เฉดสี
ความหนาแน่น	64 bits	128 bits	256 bits	512 bits
อัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้น (%)	0.00%	100.00%	200.00%	400.00%

วิธีที่ 2 คือการปรับปรุงความสามารถในการรู้จำรูปแบบของเทคโนโลยีดาต้ากลิปส์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยการเพิ่มรูปแบบสัญลักษณ์เพิ่มเติม โดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ 8 รูปแบบ และ 16 รูปแบบ ในการทดแทนค่าของสัญลักษณ์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูล และเพื่อให้ได้ความถูกต้องที่มีผลกระทบน้อยต่อข้อมูลต่างๆ วิธีที่ 3 คือการลดช่องว่างระหว่างสัญลักษณ์ เพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการบันทึกสัญลักษณ์ข้อมูลเพิ่มเติม โดยทำการทดลองในระดับ 3 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร

5. วิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพของเทคโนโลยีการฝังข้อมูลแบบดาต้ากลิปส์ ด้วยวิธีการทางการคำนวณและใช้การรู้จำรูปภาพและสีในการเพิ่มความสามารถ จากเดิมที่มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลในรูปแบบที่จำกัดโดยมีสัญลักษณ์เพียง 2 รูปแบบ ทำให้การบันทึกข้อมูลโดยเฉลี่ยทำได้ที่ 64 บิทต่อตารางนิ้ว ในการทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้อง ได้ใช้การทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่เป็นตัวอักษรทดสอบปริมาณข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูล จากผลการทดลองดังตารางที่ 1.(ก.) และ 2.(ก.) ซึ่งเป็นการทดลองในเรื่องการเพิ่มความสามารถในด้านการรู้จำรูปแบบ พบว่าอัตราความหนาแน่นและความสามารถในการบันทึกข้อมูลเพิ่มขึ้นได้ถึง 100.00% - 400.00% จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นก่อนทำการพัฒนาและตัวข้อมูลยังมีความน่าเชื่อถือ โดยการตรวจสอบค่าดังกล่าวทำภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีมาตรฐานเดียวกัน ทั้งเนื้อกระดาษ ความละเอียดในการพิมพ์ และ ความละเอียดในการแสกนภาพ โดยการทดลองทั้งหมดมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับ ผลการทดลองจากตารางที่ 1. (ข.) และ 2.(ข.) ซึ่งเป็นการทดลองโดยเพิ่มความสามารถโดย การรู้จำระดับเฉดสี โดยมีผลที่ได้นั้น ทำให้ดาต้ากลิปส์สามารถบันทึกข้อมูลได้เพิ่มขึ้นถึง 100.00% - 400.00% เช่นเดียวกับการเพิ่มความสามารถโดยการรู้จำรูปแบบและมีความถูกต้องที่น่าเชื่อถือ เพราะค่าความคลาดเคลื่อนมีเพียงเล็กน้อย

วิธีการปรับปรุงคุณภาพสื่อสิ่งพิมพ์ที่นำเสนอทำให้การฝังข้อมูลแบบดาต้ากลิปส์มีความสามารถด้านการเพิ่มปริมาณข้อมูลและมีความถูกต้องเพียงพอ สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยที่ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยให้การพัฒนาสื่อสิ่งพิมพ์ที่อยู่ในรูปแบบกระดาษให้มีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Hecht, D. L. Printed embedded data graphical user interfaces. IEEE Computer. 2001 March; 34 (3): 47-55.

[2] Umbaugh Scott E. Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIP Tools; Prentice-Hall International, Inc.

[3] D.S. Bloomberg et al. 2000. Self-Clocking Glyph Shape Codes, Patent and Trademark Office, Washington, D.C., US patent 6,076,738.

[4] Hecht, D.L. 1994. "Embedded Data Glyph Technology for Hardcopy Digital Documents," Proc. Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts III, SPIE—The Int'l Soc. Optical Engineering, vol. 2171: pp. 341-352.

[5] L. G. Shapiro and G. C. Stockman, Computer Vision, Prentice-Hall, Inc., U.S.A., 2001.

[6] Palo Alto Research Center. Data Glyphs®: Embedding Digital Data. Available source: http://www.dataglyphs.com/

[7] Zebra Technologies Corporation: Bar codes, bar code printers, software, thermal printer. Available source: http://www.zebra.com/

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุวรรฐ สตันยสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย