

การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพเพื่อการออกแบบสื่อบันทึก ข้อมูลที่เที่ยงตรงสำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสองมิติ

Application of Image Processing to Model an Accurate Medium Modeling for Two-Dimensional Magnetic Recording

ชานนท์ วิจารณ์ นนทรัฐ บำรุงเกียรติ
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การมีแบบจำลองสำหรับการจำลองโครงสร้างเกรนแม่เหล็กของสื่อบันทึกข้อมูลที่คิดร่วมกับการจำลองการเขียนข้อมูลระดับบิตลงบนสื่อบันทึกข้อมูลที่เสมือนจริงนั้น ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสองมิติ (Two-Dimensional Magnetic Recording, TDMR) ดังนั้น บทความนี้เราจึงได้นำเสนอกระบวนการการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลที่เที่ยงตรงของกรานูลาร์ (granular) สื่อบันทึกข้อมูลแบบที่มีความไม่เป็นแม่เหล็กคั่นระหว่างเกรนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยการนำภาพดิจิทัลของกรานูลาร์ของสื่อบันทึกข้อมูลจริงมาเป็นภาพรับเข้าหรือภาพต้นแบบ นอกจากนั้นยังได้เสนอวิธีการดึงคุณลักษณะสำคัญของกลุ่มข้อมูลภายในภาพดิจิทัลโดยรวมในขั้นตอนของการจำลองการเขียนข้อมูลลงสื่อบันทึกข้อมูลด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้กระบวนการเขียนข้อมูลมีความสมจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าสื่อบันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจากกระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิตมีความคล้ายคลึงกับลักษณะของสื่อบันทึกข้อมูลจริงมากกว่าแบบจำลองกรานูลาร์ของสื่อบันทึกข้อมูลในลักษณะอื่นๆที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้

คำสำคัญ : การบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบสองมิติ, โครงสร้างเกรนแม่เหล็ก, กรานูลาร์ของสื่อบันทึกข้อมูล, การประมวลผลภาพ

Abstract

A good model for generating the grain structure of the medium together with a method to magnetize the data bits onto such a medium are becoming increasingly important for two-dimensional magnetic recording (TDMR) system. Therefore, in this paper proposes an accurate medium modeling method of granular medium with non-magnetic grain boundaries using an application of image processing, which the image of real magnetic grains is used to construct the magnetized medium. Moreover, the application of the blob feature extraction algorithm is also proposed for modeling the writing process. The magnetized medium is shown that the proposed magnetized medium is more closely related to the actual one, which contains more realistic grains with non-magnetic grain boundaries, than the existing grain modeling methods.

Keywords : two-dimensional magnetic recording (TDMR), grain structure, granular medium, image processing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

เพื่อรองรับความต้องการการจัดเก็บข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เทคโนโลยีในการบันทึกข้อมูลจึงต้องได้รับการพัฒนาเพื่อรองรับความต้องการดังกล่าวอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน หนึ่งในอุปกรณ์การบันทึกข้อมูลที่ได้รับคามนิยมนมากที่สุดด้วยราคาต่อหน่วยความจุข้อมูลที่ต่ำนั้นก็คือฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Hard Disk Drive, HDD) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

เนื่องจากเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง (Perpendicular Magnetic Recording, PMR) [1] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ปัจจุบันนั้น เริ่มเข้าสู่ข้อจำกัดในหลายด้าน ทำให้ไม่สามารถเพิ่มความจุข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้เพียงพอตามความต้องการ ดังนั้นเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลทางเลือกอีกหลายเทคโนโลยีจึงได้ถูกนำเสนอเพื่อก้าวผ่านข้อจำกัดของระบบ PMR อาทิ ระบบการบันทึกข้อมูลแบบจัดรูปแบบสื่อบันทึก (Bit-Patterned Media Recording, BPMR) [2] และเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแบบใช้ความร้อนเข้าช่วย (Heat-Assistant Magnetic Recording, HAMR) [3] ซึ่งเทคโนโลยีทั้งสองสามารถเพิ่มความจุข้อมูลเชิงพื้นที่ได้มากถึง 4 เทราบิตต่อตารางนิ้ว (Tb/in^2) อย่างไรก็ตามระบบการบันทึกข้อมูลแบบ BPMR จำเป็นต้องเปลี่ยนเทคโนโลยีการสร้างสื่อบันทึกข้อมูล (media) ใหม่ ส่วนระบบการบันทึกข้อมูลแบบ HAMR ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนเทคโนโลยีของหัวเขียน (write head) ใหม่ซึ่งล้วนแล้วต้องใช้งบลงทุนสูง

เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบสองมิติ (Two-Dimensional Magnetic Recording, TDMR) [4] จึงได้ถูกนำเสนอขึ้น เพื่อเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางเลือก โดยยังคงใช้เทคโนโลยีของสื่อบันทึกข้อมูลและหัวเขียนเดิม แต่ได้เน้นการพัฒนาทางด้านการประมวลผลสัญญาณเป็นหลัก ซึ่งระบบการบันทึกข้อมูลประเภทนี้ถูกคาดหวังว่าจะสามารถเพิ่มความจุข้อมูลเชิงพื้นที่ได้สูงถึง $10 Tb/in^2$ นั้นหมายความว่าหนึ่งบิตข้อมูลจะใช้พื้นที่ประมาณ 50 ตารางนาโนเมตร (nm^2) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวจะใช้เกรนแม่เหล็ก (magnetic grain) เพียงหนึ่งถึงสองเกรนเท่านั้น [4]

ดังนั้นเพื่อให้ได้สัญญาณอ่านกลับ (readback signal) ที่สมจริงก่อนนำไปใช้ประมวลผลร่วมกับการออกแบบอัลกอริทึมต่างๆ อาทิเช่น การออกแบบวงจรปรับเท่า (equalizer) วงจรตรวจจับ (detector) รวมถึงการเข้ารหัสข้อมูล (coding) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสัญญาณอ่านกลับของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบสองมิตินี้จะถูกสร้างหรือจำลองจากการประสาน (convolution) ระหว่างผลตอบสนองของหัวอ่าน (read head response) กับสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึกข้อมูล (magnetized) ที่ได้จากระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิตลงในเกรนแม่เหล็กของสื่อบันทึกข้อมูล

การออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลที่สมจริงเพื่อนำมาใช้กับการจำลองช่องสัญญาณระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบสองมิติจึงเป็นสิ่งที่จะต้องทำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆ ถูกนำเสนอในหลายวิธีการสร้าง อาทิเช่น การออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลด้วยการจำลองลักษณะของเกรนแม่เหล็กด้วยโวโรนอยแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Voronoi grain model) [5] ยิ่งไปกว่านั้น งานวิจัย [6] นำเสนอการออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกับสื่อบันทึกข้อมูลจริงด้วยแบบจำลองโวโรนอยแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความไม่เป็นแม่เหล็กคั่นระหว่างเกรน อย่างไรก็ตามแบบจำลองทั้งสองได้ถูกออกแบบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งนอกจากจะมีความซับซ้อนสูงแล้วลักษณะของเกรนแม่เหล็กยังมีความคล้ายคลึงกับเกรนแม่เหล็กของสื่อบันทึกข้อมูลจริงต่ำอีกด้วย

บทความนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพเพื่อออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเทคนิคการเขียนข้อมูลลงบนแบบจำลองสำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสองมิติ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่เรานำเสนอสามารถจำลองการเขียนข้อมูลและจำลองการสร้างเกรนแม่เหล็กได้คล้ายคลึงกับสื่อบันทึกข้อมูลจริง

2. วิธีการออกแบบสื่อบันทึกข้อมูล

การออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องจะได้นำเสนอในบทความนี้ได้อาศัยภาพรับเข้าหรือภาพต้นแบบที่ได้จากภาพของสื่อบันทึกข้อมูลจริง โดยขั้นต้นตอนในการสร้างแบบจำลองสื่อบันทึก 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ขั้นตอนการเตรียมและปรับปรุงคุณภาพภาพสื่อบันทึกข้อมูลจริง

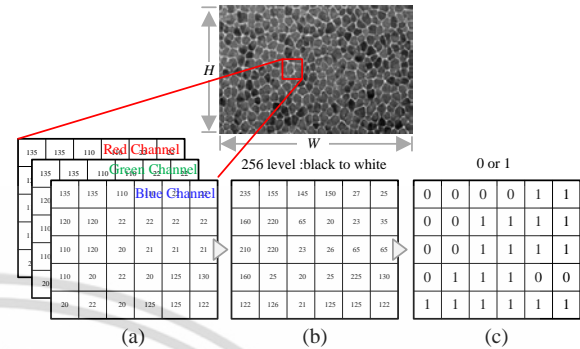
การออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลให้มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือสอดคล้องกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสื่อบันทึกข้อมูลจริงที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ถือเป็นสิ่งที่สำคัญ บทความนี้จึงอาศัยภาพดิจิทัลของสื่อบันทึกข้อมูลจริงที่ถ่ายภาพด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [7] เป็นภาพรับเข้าดังรูปที่ 1 ที่มีขนาดเท่ากับ $W \times H$ จุดภาพ (pixels) ซึ่งการเก็บข้อมูลในแต่ละจุดภาพจะเป็นชนิดเลขจำนวนเต็มที่แสดงถึงข้อมูลของการผสมสีจากแม่สีหลักสามสี ได้แก่ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินดังแสดงรูปที่ 1 (a) แต่เนื่องด้วยลักษณะการเก็บข้อมูลในแต่ละจุดภาพของภาพสีนั้นมีความซับซ้อน ยากต่อการประมวลผล เราจึงเสนอวิธีการแปลงและปรับปรุงคุณภาพของภาพสีให้เป็นเป็นประเภทภาพระดับสีเทา (ภาพระดับสีเทาจะเป็นภาพดิจิทัลที่ค่าแต่ละจุดภาพเรียงระดับความเข้มจากสีดำไปสีขาวจำนวน 256 ระดับ) โครงสร้างการเก็บข้อมูลของภาพดิจิทัลประเภทภาพระดับสีเทา แสดงดังรูปที่ 1(b) อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถแยกพื้นที่ของเกรนแม่เหล็กและบริเวณที่ไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก (non-magnetized) ให้ชัดเจน ภาพระดับสีเทาก็จะถูกแปลงและปรับปรุงคุณภาพภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยอาศัยหลักการการใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (thresholding method) เป็นตัวกำหนดจุดภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ ดังสมการที่ (1)

$$f(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{if } g(x,y) \geq n \\ 1, & \text{if } g(x,y) < n \end{cases} \quad (1)$$

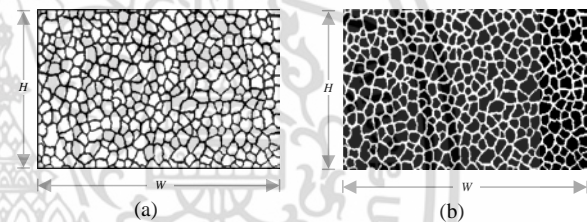
โดยที่ $g(x,y)$ และ $f(x,y)$ แสดงถึงค่าของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง x และ y จากภาพดิจิทัลประเภทระดับสีเทาและภาพดิจิทัลประเภทภาพขาวดำ ตามลำดับ และกำหนดให้ค่า n แสดงถึงค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

สำหรับการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนั้น เรากำหนดให้มีค่าเท่ากับ 128 หรือ "1000 0000" ในระบบเลขฐานสอง เนื่องจากเป็นค่ากึ่งกลางของค่าข้อมูลระดับสีเทา โดยพิจารณาว่า ถ้าค่าจุดภาพตำแหน่งใดๆ ของภาพระดับสีเทามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 128 จะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพสีดำ และในทางตรงกันข้ามถ้าค่าจุดภาพตำแหน่งใดๆ ของภาพระดับสีเทามีค่าต่ำกว่า 128 จะถูกกำหนดให้เป็น

จุดภาพสีขาว ผลลัพธ์หลังจากการแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำแสดงดังรูปที่ 2(b) ซึ่งถูกเรียกว่า "กราฟานัลาร์" ของสื่อบันทึกข้อมูล



รูปที่ 1: (a) โครงสร้างการเก็บข้อมูลของภาพดิจิทัลประเภทภาพสี, (b) โครงสร้างการเก็บข้อมูลของภาพดิจิทัลประเภทภาพระดับสีเทา, และ (c) โครงสร้างการเก็บข้อมูลของภาพดิจิทัลประเภทภาพขาวดำ



รูปที่ 2: (a) ตัวอย่างภาพดิจิทัลของสื่อบันทึกข้อมูลจริง, (b) ผลลัพธ์หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมและปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัลสื่อบันทึกข้อมูลจริง (ขนาดภาพ $W \times H$ จุดภาพ)

2.2 ขั้นตอนการกำหนดขนาดบิตข้อมูล

ในขั้นตอนการกำหนดขนาดบิตข้อมูลหรือที่เรียกกันว่า "บิตเซลล์ (bit-cell)" สิ่งแรกที่ต้องทำคือการกำหนดจำนวนแทร็กข้อมูล (data track, N_T) และจำนวนบิตข้อมูล (data bit) ต่อแทร็ก ($N_{B/T}$) ให้กับภาพดิจิทัลสื่อบันทึกข้อมูลจริงที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมและปรับปรุงคุณภาพภาพดิจิทัลแล้ว โดยกำหนดรูปแบบให้กับภาพสื่อบันทึกข้อมูลในลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยม (แทน 1 บิตเซลล์) สำหรับรองรับการเขียนข้อมูลระดับบิตลงบนสื่อบันทึกข้อมูล

ตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการกำหนดขนาดบิตข้อมูลนั้น ประกอบด้วย 2 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนจุดภาพต่อบิตข้อมูลตามแนวยาวของภาพ (W_{Bit}) และจำนวนจุดภาพต่อ

บิตข้อมูลตามแนวกว้างของภาพ (H_{Bit}) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$W_{Bit} = \frac{W}{N_{B/T}} \quad (2)$$

และ

$$H_{Bit} = \frac{H}{N_T} \quad (3)$$

โดยทั้งสองสมการใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพสี่บันทึกข้อมูลจริงตามแนวยาว (W) และจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพสี่บันทึกข้อมูลจริงตามแนวกว้าง (H) ในรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการเตรียมพื้นที่สำหรับรองรับการเขียนข้อมูลขนาด 3 แทร็ก โดยที่แต่ละแทร็กมีข้อมูลทั้งหมด 6 บิตภายใต้พื้นที่ของสี่บันทึกข้อมูลขนาด $W \times H$ จุดภาพ

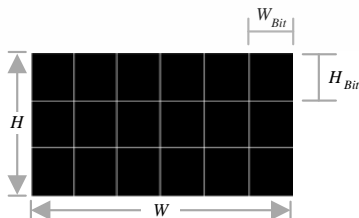
จากนั้นคำนวณค่าจุดกึ่งกลางของแต่ละพื้นที่บิตข้อมูลสำหรับรองรับการเขียนข้อมูลระดับบิตลงบนภาพสี่บันทึกข้อมูลได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$W_{Center-Bit} = \frac{W_{Bit}}{2}, \quad (4)$$

และ

$$H_{Center-Bit} = \frac{H_{Bit}}{2} \quad (5)$$

เมื่อ $W_{Center-Bit}$ คือ ค่าจุดกึ่งกลางของแต่ละบิตเซลล์ตามแนวยาว และ $H_{Center-Bit}$ คือ ค่าจุดกึ่งกลางของแต่ละบิตเซลล์ตามแนวกว้าง เนื่องจากเป็นภาพขาวดำค่าของแต่ละจุดภาพจะเป็นเพียงค่า “0” และค่า “1” เท่านั้น ดังนั้นถ้าพบว่าค่าจุดภาพ ณ ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของบิตเซลล์มีค่าใด พื้นที่บิตเซลล์นั้นทั้งหมดจะมีค่าจุดภาพเช่นเดียวกับค่าจุดกึ่งกลางภาพของบิตเซลล์นั้นๆ ด้วย



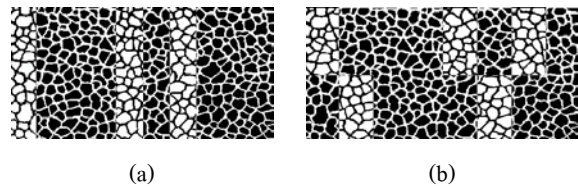
รูปที่ 3: แสดงการกำหนดตารางสี่เหลี่ยมสำหรับการเขียนข้อมูลระดับบิตลงบนภาพสี่บันทึกข้อมูล เมื่อ $N_T = 3$ และ $N_{B/T} = 6$

2.3 ขั้นตอนการแทนบิตข้อมูลตัวอย่าง

ในขั้นตอนการแทนบิตข้อมูลตัวอย่างลงบนภาพสี่บันทึกข้อมูลจริงให้ถูกต้องนั้น บทความนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีของการประมวลผลภาพด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะ (logical image processing) ซึ่งตัวดำเนินการทางตรรกะแบบ XOR ได้ถูกนำมาใช้ นั่นหมายความว่าถ้าข้อมูลจุดภาพ ณ ตำแหน่งเดียวกันของสองภาพดิจิทัลใดๆ มีค่าเดียวกันให้กำหนดข้อมูลจุดภาพใหม่เป็น “0” หรือสีขาว ในทางกลับกันถ้าข้อมูลจุดภาพ ณ ตำแหน่งเดียวกันของสองภาพมีค่าต่างกันให้กำหนดข้อมูลเป็น “1” หรือสีดำ จากรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการแทนบิตข้อมูลตัวอย่างลงบนภาพดิจิทัลสี่บันทึกข้อมูลจริงขนาด $W \times H$ จุดภาพ เมื่อ (a) กำหนดจำนวนแทร็กข้อมูลเท่ากับ 1 แทร็กและบิตข้อมูลเท่ากับ 10 บิตคือบิต “1000101000” และ (b) มีจำนวนแทร็กข้อมูลเท่ากับ 2 แทร็กและบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิตต่อแทร็ก เช่น บิต “10001010” ในแทร็กบน และบิต “01000100” ในแทร็กล่าง พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการจำลองสี่บันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กในรูปที่ 5 ซึ่งเกิดจากการ XOR กันระหว่างกราฟานูลาร์ในรูปที่ 2 (b) กับบิตที่ต้องการบันทึกในรูปที่ 4 (a, b)



รูปที่ 4: แสดงถึงตัวอย่างการแทนบิตข้อมูลตัวอย่างที่ต้องการบันทึกลงบนภาพดิจิทัลสี่บันทึกข้อมูล เมื่อ (a) $N_T = 1$, $N_{B/T} = 10$, และ (b) $N_T = 2$, $N_{B/T} = 8$ ในที่นี้บิตข้อมูล “0” ถูกแทนด้วยสีขาว และบิตข้อมูล “1” แทนด้วยสีดำ



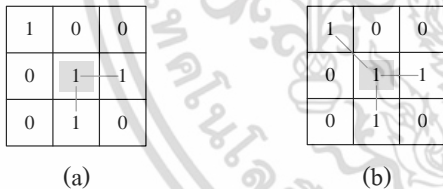
รูปที่ 5: ตัวอย่างการจำลองสี่บันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กหลังจากผ่านกระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิต เมื่อ (a) $N_T = 1$, $N_{B/T} = 10$, และ (b) $N_T = 2$, $N_{B/T} = 8$

2.4 ขั้นตอนการแยกส่วนและการตรวจหาจุดกึ่งกลางเกรน

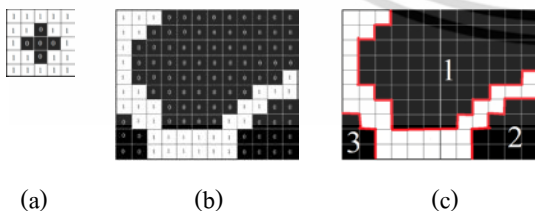
เนื่องจากผลการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กหลังจากผ่านกระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิตดังแสดงในรูปที่ 5 นั้น จะสังเกตเห็นว่าสภาพความเป็นแม่เหล็กในเกรนเดียวกันจะมีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการเขียนข้อมูลลงสื่อบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการกำหนดสภาพความเป็นแม่เหล็กให้แก่แต่ละเกรนแม่เหล็กของสื่อบันทึกข้อมูลให้ถูกต้องด้วยการแยกส่วนเกรนและตรวจหาจุดกึ่งกลางเกรนด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการดึงคุณลักษณะสำคัญของกลุ่มข้อมูลในภาพ [8-9] โดยอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า “*m*-connected” เข้ามาช่วย



รูปที่ 6: (a) แพทเทิร์นแบบ 4-connected ซึ่งเป็นแพทเทิร์นที่พิจารณาใน 4 ทิศทางของจุดภาพ, (b) แพทเทิร์นแบบ 8-connected ซึ่งเป็นแพทเทิร์นที่พิจารณาใน 8 ทิศทางของจุดภาพรอบจุดกึ่งกลางแพทเทิร์น

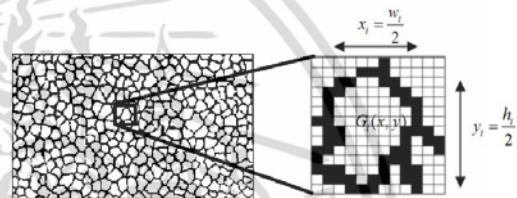


รูปที่ 7: ตัวอย่างของการจัดกลุ่มด้วย *m*-connected เมื่อ (a) แพทเทิร์นแบบ 4-connected และ (b) แพทเทิร์นแบบ 8-connected

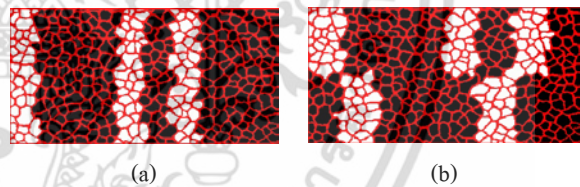


รูปที่ 8: ตัวอย่างของผลจากการจัดกลุ่มด้วย *m*-connected เมื่อ (a) แพทเทิร์นแบบ 4-connected, (b) ตัวอย่างส่วนหนึ่งของภาพดิจิทัลที่ต้องการจัดกลุ่ม, และ (c) ผลลัพธ์ในการจัดกลุ่มวัตถุภายในภาพ

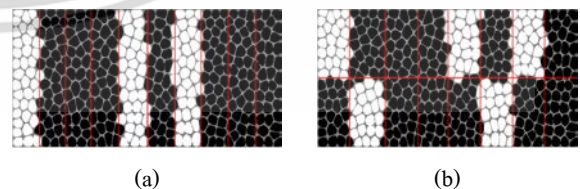
จากรูปที่ 6 แสดงแพทเทิร์นแบบ *m*-connected ซึ่งประกอบด้วย รูปที่ 6 (a) แพทเทิร์นแบบ 4-connected รูปที่ 6 (b) แพทเทิร์นแบบ 8-connected โดยจุด *p* คือตำแหน่งจุดกึ่งกลางของแพทเทิร์นใดๆ ตัวอย่างของวิธี *m*-connected ที่แสดงในรูปที่ 7 สามารถอธิบายได้ว่า ถ้าจุดภาพบริเวณใดมีลักษณะข้อมูลเหมือนกับแพทเทิร์นแบบ *m*-connected แล้วให้ถือว่าเป็นข้อมูลกลุ่มเดียวกัน วิธีการดำเนินการเพื่อแบ่งกลุ่มวัตถุที่สนใจด้วยหลักการ *m*-connected นั้นจะอาศัยการนำรูปแบบของ *m*-connected มาเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับโดยเริ่มจากตำแหน่งบนขวาของภาพและกระทำต่อเนื่องทั่วทั้งบริเวณภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่มวัตถุภายในภาพแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 9: ตัวอย่างแสดงการหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของแต่ละเกรนของสื่อบันทึกข้อมูล



รูปที่ 10: แสดงตัวอย่างการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กหลังจากผ่านกระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิตรวมกับการดึงคุณลักษณะสำคัญของกลุ่มข้อมูลในภาพ เมื่อ (a) $N_T = 1$ และ $N_{BT} = 10$, และ (b) $N_T = 2$ และ $N_{BT} = 8$



รูปที่ 11: แสดงตัวอย่างการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กคั่นระหว่างเกรนตามที่เสนอในวารสาร [6] เมื่อ (a) $N_T = 1$ และ $N_{BT} = 10$, และ (b) $N_T = 2$ และ $N_{BT} = 8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากจัดกลุ่มของข้อมูลที่สนใจภายในภาพได้แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายที่บทความนี้นำเสนอคือ ขั้นตอนการตรวจหาจุดกึ่งกลางของแต่ละเกรน ซึ่งจุดกึ่งกลางของเกรนที่ i (G_i) สามารถหาตำแหน่งได้จากจุดกึ่งกลางภาพตามแนวนอน x , และจุดกึ่งกลางภาพตามแนวตั้ง y , ของแต่ละเกรนดังแสดงในรูปที่ 9 ทั้งนี้เพื่อระบุว่าเกรนนั้นๆควรมีค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กเป็นบิต “0” หรือบิต “1” เพื่อให้สอดคล้องกับบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึก โดยเราสมมติว่าเมื่อจุดกึ่งกลางของเกรนตกอยู่ในบิตเซลล์ที่ต้องการบันทึกบิตเซลล์ใด เกรนนั้นทั้งเกรนจะมีสภาพความเป็นแม่เหล็กเช่นเดียวกับบิตที่ถูกบันทึก ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าความเป็นแม่เหล็กในสื่อบันทึกข้อมูลตรงตามบิตข้อมูลที่เรทำการบันทึก (ในรูปที่ 4)

เมื่อเราเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่เราได้นำเสนอ กับแบบจำลองไวโรนอยแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความไม่เป็นแม่เหล็กกันระหว่างเกรนตามที่นำเสนอในวารสาร [6] ดังแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นว่าวิธีที่เรานำเสนอสามารถจำลองการเขียนข้อมูลลงบนสื่อบันทึกได้เช่นเดียวกับวิธีดังกล่าว ยิ่งไปกว่านั้นแบบจำลองที่เราเสนอมีความคล้ายคลึงกับสื่อบันทึกข้อมูลจริงมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองที่เรา นำเสนอถูกสร้างจากสื่อบันทึกข้อมูลจริง

3. สรุป

การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพเพื่อการออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลที่เที่ยงตรงสำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสองมิติที่เราเสนอได้อาศัยภาพดิจิทัลของสื่อบันทึกข้อมูลจริงเป็นภาพรับเข้าหรือภาพต้นแบบ ดังนั้น กราฟหรือเกรนแม่เหล็กที่ได้จึงมีความสมจริงเป็นอย่างมาก นอกจากนี้เรายังได้เสนอวิธีการจำลองการเขียนข้อมูลระดับบิตลงไปบนสื่อบันทึกดังกล่าวด้วยจากแบบจำลองนี้จะช่วยให้สัญญาณอ่านกลับมีความสมจริงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อถูกนำไปประมวลผลร่วมกับการออกแบบอัลกอริทึมต่างๆในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสองมิติก็ย่อมมีความเที่ยงตรงสูงด้วยเช่นกัน

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. A. Roscamp, E. D. Boerner and G. J. Parker, “Three-Dimensional Modeling of Perpendicular Recording with Soft Underlayer,” *Journal of Applied Physics*, Vol. 91, No. 10, pp. 8366-8368, May, 2002.
- [2] B. Terris, T. Thomson, and G. Hu, “Patterned Media for Future Magnetic Data Storage,” *Microsyst. Technol.*, Vol. 13, No. 2, pp. 189-196, Nov., 2006.
- [3] R. Rottmeyer et al., “Heat-Assisted Magnetic Recording,” *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 42, No. 10, pp. 2417-2421, Oct., 2006.
- [4] R. Wood, M. Williams, A. Kavcic, and J. Miles, “The Feasibility of Magnetic Recording at 10 Terabits Per Square Inch on Conventional Media,” *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 45, No. 2, pp. 917-923, Feb., 2009.
- [5] K. S. Chan, J. J. Miles, E. Hwang, B. V. K. V. Kumar, J. Zhu, W. Lin, and R. Negi, “TDMR Platform Simulations and Experiments,” *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 45, No. 10, pp. 3837-3843, Oct., 2009.
- [6] M. Yamashita, H. Osawa, Y. Okamoto, Y. Nakamura, Y. Suzuki, K. Miura, and H. Muraoka, “Read/Write Channel Modeling and Two-Dimensional Neural Network Equalization for Two-Dimensional Magnetic Recording,” *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 47, No. 10, pp. 3558-3561, Oct., 2011.
- [7] J. G. Zhu, Y. Peng, and D. E. Laughlin, “Toward an Understanding of Grain-to-Grain Anisotropy Field Variation in Thin Film Media,” *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 41, No. 2, pp. 543-548, Feb., 2005.
- [8] Q. R. Razlighi and Y. Stern, “Blob-Like Feature Extraction and Matching for Brain MR Images,” *33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Aug., 2011.
- [9] M. Li, X. Zheng, X. Wan, H. Luo, S. Zhang, and L. Tan, “Segmentation of Brain Tissue Based on Connected Component Labeling and Mathematic Morphology,” *IEEE BMEI*, Vol. 1, pp. 482-485, Oct., 2011.