# การศึกษาสัญญาณอ่านกลับของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม

# A Study of Readback Signal of Hard Disk Drive (HDDs) using Hexagonal Magnetic Recording Media Modeling

**นนทรัฐ บำรุงเกียรติ[1] และชานนท์ วริสาร[2]**

**Nontarat Bumrungkiat[1] and Chanont Warisarn[2]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-Mail nontarat.brk@gmail.com

[2]วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-Mail kwchanont@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาลักษณะของสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลแบบหกเหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะการจัดเรียงบิตข้อมูลภายในสื่อบันทึกเชิงแม่เหล็กรูปแบบใหม่ที่มีลักษณะการจัดเรียงกันของพื้นที่ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเป็นแบบหกเหลี่ยม โดยขั้นตอนการศึกษานั้น ประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม ผลการจำลองจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของสื่อบันทึกแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยมีสภาพความเป็นแม่เหล็กสอดคล้องกับบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึกในรูปแบบต่างๆ และศึกษาลักษณะของสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการใช้สื่อบันทึกข้อมูลนั้นๆ ในแต่ละกรณี ซึ่งผลการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการบันทึกข้อมูลแบบหกเหลี่ยมนั้น สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาลักษณะของสัญญาณอ่านกลับจากการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กจากสื่อบันทึกรูปแบบอื่นๆ ได้

**คำสำคัญ:** ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ สัญญาณอ่านกลับ สื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

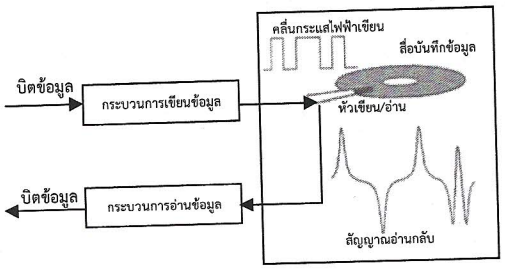
## Abstract

This paper presents a study of readback signal of Hard Disk Drive (HDDs) via hexagonal magnetic media modeling in magnetic recording system which is a new bit pattern in magnetic recording media. The study consists of the magnetization generator with the hexagonal magnetic recording media modeling and readback signal generator. The results show that the magnetization on hexagonal magnetic recording media modeling corresponds with the recorded bits and the readback signal can be generated in each case depends on magnetization and also help who studied understand in readback signal of the another magnetic recording media patterns.

**Keywords:** Hard Disk Drive, Readback Signal, Magnetic Recording Media

## 1. บทนำ

สำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก (Magnetic Recording System) นั้น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ถือเป็นหัวใจสำคัญหนึ่งที่ถูกนำมาศึกษาและวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจหลักการได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง จำเป็นต้องอาศัยการพิจารณาผลลัพธ์หรือลักษณะของสัญญาณขาออกในขั้นตอนต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากแต่ละส่วนของระบบอย่างละเอียด เนื่องจากขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่สำคัญนั้นประกอบด้วยหลายส่วน จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาหลักการและขั้นตอนวิธีต่างๆ ของแต่ละส่วนอย่างละเอียด




**รูปที่ 1** แบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

จากรูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก โดยกระบวนการเขียนข้อมูลนั้นเริ่มจากบิตข้อมูลข่าวสาร (Message Bits) จะถูกนำมาเข้าสู่ขั้นตอนวิธีของกระบวนการเขียนข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยการเข้ารหัสโดยวงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (Error-Correction Code (ECC) Encoder) ซึ่งเป็นกระบวนการการเพิ่มบิตข้อมูลเข้าไปในบิตข้อมูลข่าวสาร เพื่อช่วยในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูล จากนั้นข้อมูลจะถูกแปลงเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าเขียน (Write Current Waveform) ด้วยวงจรมอดูเลเตอร์(Modulator) ก่อนที่คลื่นกระแสไฟฟ้าเขียนนี้ก็จะถูกป้อนไปยังหัวเขียนเพื่อเขียนข้อมูลลงในสื่อบันทึกให้สื่อบันทึกมีสภาพความเป็นแม่เหล็กตามลักษณะของบิตข้อมูลที่ถูกบันทึก

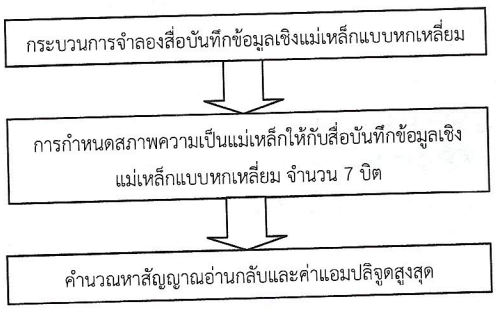
สำหรับขั้นตอนวิธีของกระบวนการอ่านข้อมูลนั้น หัวอ่านจะทำการอ่านข้อมูลจากสื่อบันทึกที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งสัญญาณที่อ่านได้นั้นถูกเรียกว่าสัญญาณอ่านกลับ (Readback Signal) จากนั้นสัญญาณอ่านกลับจะถูกนำไปประมวลผลในขั้นตอนวิธีต่างๆ ของขั้นตอนกระบวนการอ่านข้อมูล ได้แก่ วงจรชักตัวอย่างสัญญาณ (Sampler, Analog-to Digital Converter) วงจรปรับเท่า (Equalizer) วงจรตรวจหา (Detector) และจะถูกถอดรหัสอีกครั้งด้วยวงจรถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (Error-Correction Code (ECC) decoder) อีกครั้งหนึ่งก่อนกลับมาเป็นบิตข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้อง [1,2,3]

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาลักษณะของสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม เพื่อเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์และสังเกตผลลัพธ์หรือลักษณะของสัญญาณอ่านกลับของระบบการบันทึกข้อมูลให้ชัดเจน อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ศึกษาเข้าใจกระบวนการ อ่านข้อมูลในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอีกด้วย

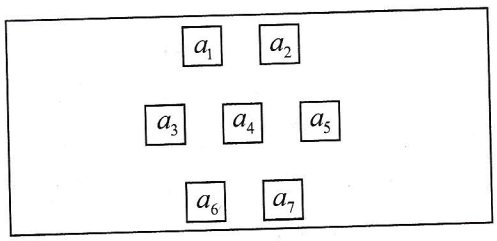
## 2. ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 การจำลองสื่อบันทึกข้อมูลฯ แบบหกเหลี่ยม

กระบวนการจำลองการเขียนข้อมูลระดับบิตลงสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่มีพื้นที่การบันทึกข้อมูลแบบหกเหลี่ยมนั้น จะถูกกำหนดให้มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก โดยแบบจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้จะถูกกำหนดให้มีความเป็นแม่เหล็กสองสถานะนั่นคือ “1” กับ “-1” และบริเวณที่ไม่มีการบันทึกหรือไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก จะถูกกำหนดให้มีสถานะ “0” ก่อนทำการประสานจังหวะแบบสองมิติ (2D-Convolution) กับผลตอบสนองหัวอ่าน (Head Sensibility Response) เพื่อให้ได้สัญญาณอ่านกลับ แสดงขั้นตอนกระบวนการประมวลผลสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม ดังแผนรูปที่ 1 [4]




**แผนภาพที่ 1** ขั้นตอนการศึกษาสัญญาณอ่านกลับของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม




**รูปที่ 2** แสดงตำแหน่งตัวแปรของสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยมที่ใช้ในงานวิจัย จำนวน 7 บิต

จากรูปที่ 2 ใช้ในการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม โดยกำหนดตัวแปรของสื่อบันทึกข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบการบันทึกบิตข้อมูลจำนวน 7 บิตในลักษณะต่างๆ กัน ซึ่งหากพิจารณารูปแบบการบันทึกข้อมูลทั้งหมด จะมีจำนวนรูปแบบที่พิจารณาทั้งหมด $2^7$ หรือ 128 รูปแบบ

### 2.2 ขั้นตอนวิธีการสร้างสัญญาณอ่านกลับ

กระบวนการอ่านสัญญาณข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เป็นกระบวนการหนึ่งที่อาศัยผลตอบสนองของหัวอ่าน (Sensitivity function) [5] โดยผลตอบสนองดังกล่าวเมื่อนำไปประสานจังหวะแบบสองมิติ (2D Convolution) [5] กับภาพสื่อบันทึกจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก ดังสมการที่ 1

$$V(x,y)=\iint M(\xi,\eta)\psi(x-\xi,y-\eta)d\xi d\eta \qquad (1)$$

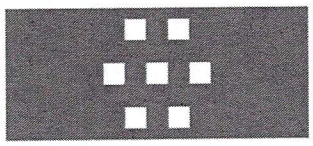
เมื่อ $M(x,y)$ คือ สภาพความเป็นแม่เหล็ก (magnetization)ของสื่อบันทึกข้อมูล และ $\psi(x,y)$ คือ ผลตอบสนองหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และสัญญาณอ่านกลับนี้จะถูกนำไปใช้ประมวลผลสัญญาณร่วมกับขั้นตอนวิธีต่างๆ ของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กต่อไป

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลฯ แบบหกเหลี่ยม

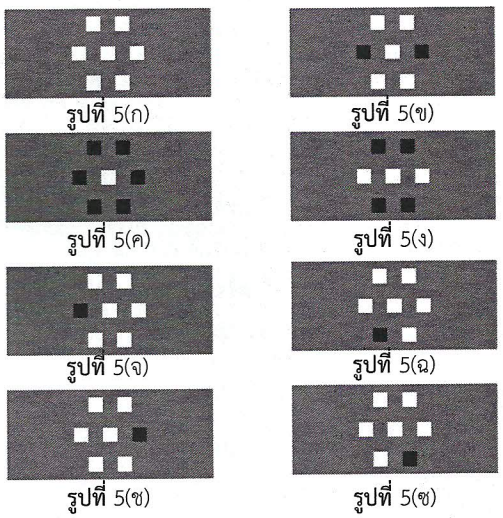
ผู้วิจัยได้ดำเนินการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม โดยจำลองเป็นภาพดิจิตอล ซึ่งกำหนดให้แต่ละบิตข้อมูลมีขนาด 25x25 จุดภาพ (ประมาณ 7.25x7.25 นาโนเมตร) ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของแต่ละบิต 50 จุดภาพ (ประมาณ 14.5 นาโนเมตร) ขนาดผลตอบสนองของหัวอ่าน 125x125 จุดภาพ (ประมาณ 36.25x36.25 นาโนเมตร) ตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละหัวอ่าน ครอบคลุมลักษณะการอ่านบิตข้อมูล ดังรูปที่ 3 โดย 1 จุดภาพ แทนความยาวประมาณ 0.29 นาโนเมตร

สัญญาณอ่านกลับจะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time Signal) ที่พิจารณาจากค่าแอมปลิจูดสูงสุด (Peak Amplitude) ซึ่งการคำนวณหาค่าแอมปิจูดสูงสุดของค่าสัญญาณอ่านกลับ ณ ตำแหน่งจุดกึ่งกลางบิตข้อมูลรูปแบบการบันทึกข้อมูลใดๆ นั้น ต้องทำการนอมอลไลซ์ (Normalization) ให้กับแต่ละสัญญาณอ่านกลับก่อน โดยผู้วิจัยได้จากการจำลองการบันทึกข้อมูลด้วยจำนวน 50 บิตและบันทึกข้อมูลจำนวน 5 แถบบันทึก ดังรูปที่ 4 ซึ่งพบว่าได้ค่าแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ 304.25 หน่วย ซึ่งจะถูกนำไปนอมอลไลซ์ให้กับแต่ละสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการบันทึกในแต่ละรูปแบบ



**รูปที่ 3** แสดงลักษณะแบบจำลองสื่อบันทึกแม่เหล็กที่มีพื้นที่การบันทึกข้อมูลแบบหกเหลี่ยมที่ใช้ในงานวิจัย

**รูปที่ 4** แสดงลักษณะสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยมใช้หาค่าแอมปลิจูดสูงสุดสำหรับการทำนอมอลไลซ์



**รูปที่ 5(ก)** **รูปที่ 5(ข)** **รูปที่ 5(ค)** **รูปที่ 5(ง)** **รูปที่ 5(จ)** **รูปที่ 5(ฉ)** **รูปที่ 5(ช)** **รูปที่ 5(ซ)**

**รูปที่ 5** แสดงตัวอย่างรูปแบบการบันทึกข้อมูล

จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงภาพดิจิตอลที่เป็นตัวแทนของสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยม โดยบริเวณสีขาวแสดงการบันทึกบิตข้อมูล “1” สภาพความเป็นแม่เหล็กเป็นบวก บริเวณสีดำแสดงการบันทึกบิตข้อมูล “0” สภาพความเป็นแม่เหล็กเป็นลบ และบริเวณสีแดงแทนบริเวณที่ไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก

จากตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างรูปแบบการบันทึกข้อมูลและค่าของแอมปลิจูดสูงสุด จำนวน 8 รูปแบบ พบว่า ค่าแอมปลิจูดสูงสุดของแต่ละรูปแบบการบันทึกสามารถสื่อให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของบิตกึ่งกลางของแต่ละรูปแบบได้ ซึ่งยกตัวอย่างได้ดังนี้

**ตารางที่ 1** แสดงตัวอย่างรูปแบบการบันทึกข้อมูลและค่าของแอมปลิจูดสูงสุดในแต่ละรูปแบบ

| รูปที่ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ | $a_7$ | แอมปลิจูดสูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.9738 |
| 5.2 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 0.8268 |
| 5.3 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0.5430 |
| 5.4 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0.6021 |
| 5.5 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.9003 |
| 5.6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 0.9003 |
| 5.7 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 0.7880 |
| 5.8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 0.7880 |

การบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 5(ก) ลักษณะการบันทึกข้อมูลมีค่าเป็น "1" ทั้ง 7 บิต ค่าแอมปลิจูดสูงสุด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของรูปแบบการบันทึก มีค่าประมาณ 0.9738 ซึ่งสามารถตีความหมายได้ว่า บิตกึ่งกลางนั้นควรเป็นบิต "1" หรือมีสภาพความเป็นแม่เหล็กบวก เนื่องจากค่าแอมปลิจูดเป็นบวก หรือ การบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 5(ค) ค่าแอมปลิจูดสูงสุด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของรูปแบบการบันทึก มีค่าประมาณ 0.5430 ซึ่งสามารถตีความหมายได้ว่า บิตกึ่งกลางนั้นควรเป็นบิต "1" หรือมีสภาพความเป็นแม่เหล็กบวก เนื่องจากค่าแอมปลิจูดสูงสุดยังคงเป็นบวก

## 4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสัญญาณอ่านกลับของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการจำลองสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบหกเหลี่ยมที่วิจัยนี้ เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณอ่านกลับจากสื่อบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กรูปหกเหลี่ยม ซึ่งจากการทดลองบันทึกข้อมูลรูปแบบต่างๆ นั้น พบว่าสัญญาณอ่านกลับที่ถูกแปลงให้เป็นค่าแอมปลิจูดสูงสุดสามารถบอกถึงค่าบิตกึ่งกลางของแต่ละรูปแบบได้อย่างถูกต้อง โดยพิจารณาจากค่าเครื่องหมายของแอมปลิจูดดังกล่าวนั้นเอง เช่น หากค่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณอ่านกลับเป็นบวก แสดงถึงการบันทึกข้อมูลบิตกึ่งกลางเป็นบิต "1" หรือการมีสภาพความเป็นแม่เหล็กบวก แต่หากค่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณอ่านกลับเป็นลบ แสดงถึงการบันทึกข้อมูลบิต "0" หรือการมีสภาพความเป็นแม่เหล็กลบนั่นเอง

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีและวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. A. Rosecamp, E. D. Boerner and G. J. Parker, "Three Dimensional modeling of perpendicular recording with soft underlayer," The Journal of Apply Physics , vol.91, no.10, May 2002.

[2] A. R. Krishnan, R. Radhakrishnan, B. Vasic, and F. Erden, " 2-D magnetic recording: Read channel modeling and detection," IEEE Trans. Magn., vol.45, no. 10, pp. 3830–3836, Oct. 2009.

[3] K. S. Chan, J. J. Miles, E. Hwang, and J. Zhu, W. Lin,and R. Negi,"The TDMR platform simulations and experiments," IEEE Trans. Magnetic., vol. 45, no. 10, pp. 3837–3843, Oct. 2009.

[4] N. Bumrungkiat, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Magnetized Grain Modeling Method Based on the Image of Real Magnetic Grains for Two-Dimensional Magnetic Recording", The ITC-CSCC conference, July 2013

[5] M.Yamashita,H.Osawa, Y. Okamoto, Y. Nakamura, Y. Suzuki, K. Miura, H. Muraoka, "Read and Write Channel Modeling Two-D Neural Network Equalization for Two-D Recording," IEEE Trans. Magn., vol. 47.