

บทคัดย่อ

Project Code : RSA568005

(รหัสโครงการ)

Project Title : รหัสแก้ไขความผิดพลาดและการประมวลผลสัญญาณสำหรับการบันทึกข้อมูล
ความหนาแน่นสูง

Investigator : ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail Address : pornchai.su@kmitl.ac.th

Project Period : 15 กันยายน 2556 ถึง 14 กันยายน 2559 (3 ปี)

เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลความหนาแน่นสูงสำหรับอนาคตมีทางเลือกสองทาง คือการบันทึกเชิงแม่เหล็ก อาทิเช่น การบันทึกแม่เหล็กแนวตั้งชั้นสูง, การบันทึกแม่เหล็กความร้อนช่วย, การบันทึกสื่อแพทเทิร์นบิตและ การบันทึกข้อมูลซ้อนทับ ที่ใช้งานในอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ นอกจากนี้ยังมีการบันทึกแบบแฟลชที่ใช้งานในโซลิดสเตทไทรฟ์ การบันทึกเชิงแม่เหล็กได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์หลายอย่าง ได้แก่ การเลื่อนทรานซิชันไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear transition shift: NLTS) ความขรุขระอุณหภูมิ thermal asperity) การแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (intersymbol interference: ISI) การแทรกสอดระหว่างแทร็ก (inter-track interference: ITI) รวมทั้งปัญหาเฉพาะในเทคโนโลยีแต่ละประเภท เช่น ผลกระทบจากความร้อนต่อหัวอ่านในการบันทึกแม่เหล็กความร้อนช่วย การเขียนบิตผิดพลาดในการบันทึกสื่อแพทเทิร์นบิต เป็นต้น สำหรับการบันทึกแบบแฟลชนั้นได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนหลายชนิด เช่น การเก็บรักษาบิต (retention noise) การแทรกสอดระหว่างเซลล์ (inter-cell interference) และการรบกวนการเขียน-อ่าน (read/write disturb) เป็นต้น สัญญาณรบกวนและความผิดพลาดเหล่านี้ล้วนมีผลต่อสมรรถนะของระบบการบันทึกข้อมูลเป็นอย่างมาก ในระบบบันทึกเชิงแม่เหล็ก ขนาดแทร็กและขนาดบิตที่เล็กลงมีผลทำให้การแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์และการแทรกสอดระหว่างแทร็กมีระดับที่รุนแรงขึ้น ในขณะที่ระบบการบันทึกแบบแฟลช การบันทึกหลายระดับต่อเซลล์ (multi levels per cell) ทำให้การแทรกสอดระหว่างเซลล์มีค่ามากขึ้น ดังนั้นระดับเอสเอนอาร์ที่ต่ำลงจะมีผลต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคนิคการประมวลผลข้อมูลเข้า

มาใช้งาน นอกจากนี้ระดับอัตราบิดผิดพลาดที่ต่ำมากในระดับน้อยกว่า 10^{-12} ทำให้ต้องนำรหัสแก้ไขความผิดพลาด (error correction code: ECC) เข้ามาใช้งาน

ในโครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการการประมวลผลสัญญาณแบบใหม่ และรหัสแก้ไขความผิดพลาดสำหรับการบันทึกข้อมูล โดยจะทำการออกแบบดีเท็กเตอร์ที่อิงกับกราฟและเทรลิสสำหรับช่องสัญญาณแบบสองมิติ ข้อดีของการดีเท็กต์แบบกราฟคือใช้จำนวนรอบในการทำงานที่ต่ำลง และมีความซับซ้อนแบบเชิงเส้นอีกด้วย สำหรับรหัสแก้ไขความผิดพลาดจะเน้นไปที่รหัสพาร์ตีใช้ความหนาแน่นต่ำหรือรหัสแอลดีพีซีแบบไบนารีและนอนไบนารี ที่ออกแบบด้วยอัลกอริทึม progressive-edge growth (PEG) และมีการถอดรหัสด้วยการจัดเรียงลำดับการอัปเดตค่าที่แตกต่างจากวิธีดั้งเดิม โดยจะมีการจำลองสมรรถนะของระบบบันทึกเชิงแม่เหล็กและแบบแฟลช ท้ายที่สุดจะมีการวิจัยการออกแบบการบันทึกข้อมูลซ้อนทับ

คำหลัก : วงจรดีเท็กต์วิเทอร์บี, แบบจำลองช่องสัญญาณสองมิติ, การบันทึกแม่เหล็กความร้อนช่วย, การบันทึกสื่อแพทเทิร์นบิต, การบันทึกข้อมูลซ้อนทับ, หน่วยความจำโซลิตสเตท, การประมวลผลวนกลับ, การอีควอไลซ์เทอร์โบ

Abstract

Project Code : RSA568005

Project Title : รหัสแก้ไขความผิดพลาดและการประมวลผลสัญญาณสำหรับการบันทึกข้อมูล
ความหนาแน่นสูง

Investigator : ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail Address : pornchai.su@kmitl.ac.th

Project Period : 15 กันยายน 2556 ถึง 14 กันยายน 2559 (3 ปี)

The candidates for the next generation of disk drive (HDD) technologies include advanced perpendicular magnetic recording (PMR), heat-assisted magnetic recording (HAMR), bit patterned media (BPM) recording, shingled magnetic writing (SMR) as well as flash-based recording. The first four technologies are based on magnetic recording, while the other relies on the solid-state technology. The magnetic recording is faced with noise and distortion which include media noise, nonlinear transition shift (NLTS), thermal asperity, thermal response, intersymbol interference (ISI), inter-track interference (ITI) as well as system-specific issues such as heating gradients in HAMR, write errors in BPM as well as multiple shingle track pitch in SMR, all of which degrade the system reliability. For the flash-based memory, there are several types of noise sources including retention process, inter-cell interference (ICI), background pattern noise, and read/program disturb. Such noise sources reduce the storage reliability of magnetic and flash memory significantly. The continuous bit cost reduction of both types of devices mainly relies on aggressive technology scaling, which, however, further deteriorates the storage reliability. In magnetic recording, the bit size and track pitch are continually reduced causing the ISI, ITI issues, while for flash-based recording, multi levels per cell lead to increased ICI issues. In addition, the signal-to-noise ratio (SNR) is further decreased resulting in degraded bit error rate (BER). Signal processing is required to tackle the ISI, ITI and ICI issues. The typical storage reliability requirement is that non-recoverable BER must be

below 10^{-15} . Such stringent BER requirement makes error correction code (ECC) techniques mandatory to guarantee storage reliability. Different ECC techniques are required in different types of magnetic and flash memory. Turbo equalization between the detectors and ECC decoders can be used to further increase the system performance.

In this project, we develop the novel advanced signal processing and coding schemes for memory storage. Specifically, given a two-dimensional channel matrix, representing the ISI and ITI, we design the myriad detector types such as trellis-based and graph-based detectors. Benefits of such a structure include the SNR gains after fewer iterations, linear complexity and significant mitigation reduction of inter-track interference (ITI) and other distortions on the write side such as nonlinear transition shift (NLTS) and on the read side such as thermal asperity (TA), thermal response (TR) and dual peak-to-peak readback amplitude. For the ECC, binary and non-binary low-density parity-check (LDPC) codes based on progressive-edge growth (PEG) algorithm and the product code structure will be beneficial. For the decoders, the layered-scheduling and mixed-scheduling will be designed and proposed for magnetic-based and flash-based memory storage.

Keywords : Viterbi detector, two-dimensional channel model, heat-assisted magnetic recording (HAMR), bit patterned media (BPM), shingled magnetic writing (SMR), solid-state memory, iterative processing, turbo equalization