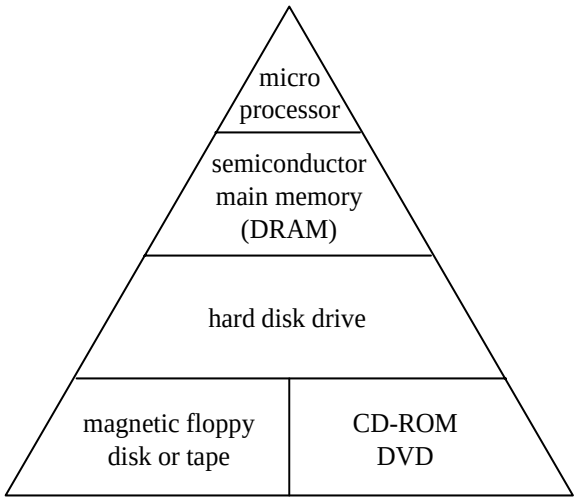
บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบันทึกระบบแม่เหล็ก

ในบทนี้จะอธิบายถึงความสำคัญของระบบการบันทึกข้อมูล โดยจะเน้นไปที่อุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (hard disk drive) จากนั้นจะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาของการบันทึกระบบแม่เหล็ก (magnetic recording) พร้อมทั้งอธิบายพื้นฐานต่างๆ เกี่ยวกับการบันทึกระบบแม่เหล็ก เช่น โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, ลูปฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop), และซูเปอร์พาราแมกเนติก (superpara-magnetic) เป็นต้น และสุดท้ายจะกล่าวถึงแนวโน้มของเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในอนาคต เพื่อรองรับความต้องการในการจัดเก็บข้อมูลที่มากขึ้นเรื่อยๆ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันนี้เป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร ดังนั้น จึงมีความต้องการระบบการบันทึกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง, ราคาถูก, และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมาก อุปกรณ์สำหรับการบันทึกข้อมูลที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน เช่น แผ่นบันทึกแม่เหล็ก (magnetic floppy disk), แถบบันทึกแม่เหล็ก (magnetic tape), ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, แผ่นซีดี (CD: compact disc), และแผ่นดีวีดี (DVD: digital versatile disc) เป็นต้น ซึ่งมักจะพบการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้อย่างเห็นได้ชัดภายใน



รูปที่ 1.1: โครงสร้างลำดับชั้นของการบันทึกข้อมูล [1]

เครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำการเชื่อมต่อกับเครือข่าย (network) ต่างๆ ได้แก่ เครือข่ายเฉพาะที่ (LAN: local area network) และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) รวมทั้งการเกิดขึ้นของเวิลด์ไวด์เว็บ (www: world wide web) ก็ยิ่งส่งผลทำให้เกิดความต้องการในการจัดเก็บข้อมูลมากขึ้นตลอดเวลา

รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างลำดับชั้นของการบันทึกข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปเครื่องคอมพิวเตอร์จะประกอบไปด้วย ไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessor), หน่วยความจำหลักแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor main memory), และอุปกรณ์สำหรับการบันทึกข้อมูล โดยไมโครโพรเซสเซอร์จะทำหน้าที่หลักในการเข้าถึงและจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำหลักแบบสารกึ่งตัวนำ เช่น ดีแรม (D-RAM: dynamic random access memory) เนื่องจากมีความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล (น้อยกว่า 100 นาโนวินาที) อย่างไรก็ตาม ดีแรมถือว่าเป็นหน่วยความจำลบเลือนได้[1] (volatile memory) และมีความจุข้อมูลน้อย ดังนั้นจึงมีความต้องการใช้งานอุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมสำหรับการบันทึกข้อมูล เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, แผ่นบันทึกแม่เหล็ก, แถบบันทึกแม่เหล็ก, แผ่นซีดี, และแผ่นดีวีดี เป็นต้น ซึ่ง

[1]ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำลบเลือนได้จะสูญหายไป เมื่อไม่มีพลังงานส่งเข้าเลี้ยงในหน่วยความจำแบบนี้

อุปกรณ์เหล่านี้ถือว่าเป็น หน่วยความจำไม่ลบเลือน[2] (nonvolatile memory) ถึงแม้ว่าอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเหล่านี้จะมีความจุข้อมูลสูง แต่ความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลจะช้ามากเมื่อเทียบกับตัวดีแรม โดยสรุปแล้ว จากรูปที่ 1.1 ลำดับชั้นที่อยู่สูงๆ จะมีความโดดเด่นทางด้านความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล แต่จะมีความด้อยในเรื่องราคา กล่าวคือ ราคาต่อหนึ่งกิกะไบต์ (GB: gigabyte) จะมีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลทั่วไป อย่างไรก็ตาม ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่คุ้มค่ามากที่สุด เมื่อพิจารณาจากปัจจัยหลายๆ อย่าง ได้แก่ ความจุข้อมูล, ราคา, ความน่าเชื่อถือ, และประสิทธิภาพ เป็นต้น เพราะฉะนั้นในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่านั้น

1.2 ประวัติความเป็นมาของการบันทึกระบบแม่เหล็ก

เทคนิคการบันทึกข้อมูลในยุคแรกๆ ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์จะเกี่ยวข้องกับกระดาษ โดยจะอยู่ในรูปของบัตรเจาะรู (punch card) และแถบบันทึกกระดาษ (paper tape) โดยที่ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บโดยการเจาะรู หรือการเขียนบนกระดาษ [2] วิธีการเก็บข้อมูลลักษณะนี้ยุ่งยากและทำงานช้า นอกจากนี้สื่อบันทึก (media) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลก็ไม่คงทน ต่อมาจึงได้มีการนำแถบบันทึกแม่เหล็กมาใช้ในการเก็บข้อมูลแทนการใช้กระดาษ โดยที่ กระบวนการในการอ่านและการเขียนข้อมูลของแถบบันทึกแม่เหล็ก จะคล้ายกับกระบวนการอ่านและการเขียนที่ใช้กับเครื่องเล่นเทปเพลง ข้อเสียหลักของแถบบันทึกแม่เหล็กและเทปเพลง ก็คือ การเข้าถึงข้อมูลจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) นั่นคือ ระบบไม่สามารถทำการเข้าถึงแบบสุ่ม (random access) ได้ ยุคถัดมาจึงได้มีการนำเอาแผ่นบันทึกแม่เหล็กมาใช้งาน ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มได้ แต่อย่างไรก็ตาม แผ่นบันทึกแม่เหล็กมีความจุข้อมูลจำกัดและความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลค่อนข้างช้า ดังนั้นจึงเข้ามาสู่ยุคของการบันทึกระบบแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งมีข้อดีมากมาย เช่น มีความจุข้อมูลสูง, มีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสูง, สามารถทำการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มได้ และอื่นๆ

การบันทึกระบบแม่เหล็กได้ถูกคิดค้นโดย Oberlin Smith [3] ในปี ค.ศ. 1888 และได้ถูกนำมาแสดงเป็นครั้งแรกโดยวิศวกรชื่อ Valdemar Poulsen ในปี ค.ศ. 1898 ในรูปของ “Telegraphone” [4] โดยเครื่อง Telegraphone นี้จะบันทึกสัญญาณเสียงแบบแอนะล็อก (analog) บนสายลวดเปียโน

[2] ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำไม่ลบเลือนจะไม่สูญหาย ถึงแม้ว่าพลังงานที่ส่งเข้าไปในหน่วยความจำแบบนี้จะหมดไป

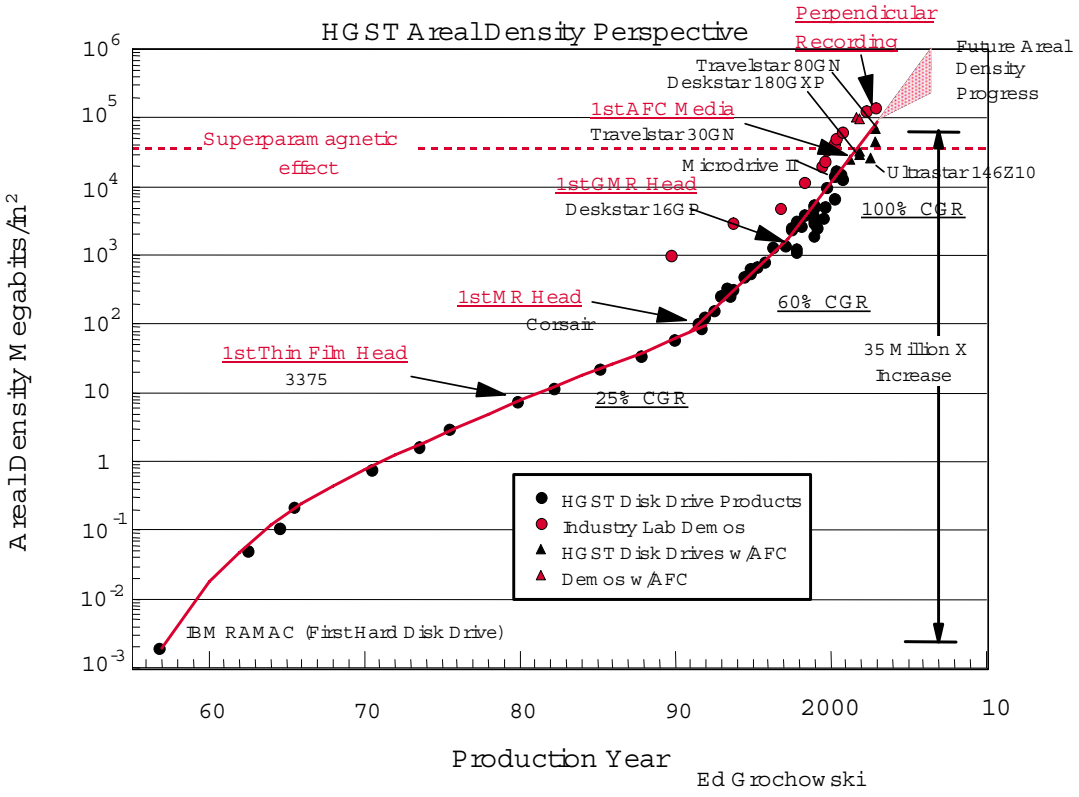
ที่พันรอบดรัม (drum) ที่หมุนได้ หลังจากนั้นก็ใช้ระยะเวลาในการพัฒนาหลายสิบปีจึงได้เป็นระบบการบันทึกระบบแม่เหล็กออกมาสู่ท้องตลาด ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์, โทรศัพท์มือถือ, เครื่องเล่นเพลงแบบพกพา, และกล้องดิจิทัล เป็นต้น มีความต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เทคโนโลยีการบันทึกระบบแม่เหล็กแบบดิจิทัล (digital magnetic recording) ถือว่าเป็นวิธีการหลักที่ใช้ในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลมากมาย ได้แก่ แผ่นบันทึกแม่เหล็ก, แถบบันทึกแม่เหล็ก, และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของงานประยุกต์ (application) ต่างๆ

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรกออกสู่ท้องตลาดในปี ค.ศ. 1956 โดยบริษัทไอบีเอ็ม (IBM) โดยมีชื่อเรียกว่า "IBM 305 RAMAC[3]" [5] ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ 5 เมกะไบต์ (MB: megabyte) โดยใช้จานบันทึกแม่เหล็ก (magnetic disk) ทั้งหมด 50 แผ่น และแต่ละแผ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีขนาดเล็กลงมาก ตัวอย่างเช่น มีขนาดความสูงน้อยกว่า 2 นิ้ว และจานบันทึกก็มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.5 นิ้ว แต่สามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่า 100 GB รูปที่ 1.2 แสดงแนวโน้มการเติบโตของ "ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal density)" ซึ่งเป็นตัวชี้บอก (indicator) ปริมาณของข้อมูลบิต (bit) ที่สามารถถูกจัดเก็บในพื้นที่หนึ่งหน่วยบนสื่อบันทึก โดยทั่วไปมีหน่วยเป็น กิกะบิตต่อตารางนิ้ว (Gb/in^2: gigabit per square inch) (ดูรายละเอียดคำนิยามของความหนาแน่นเชิงพื้นที่ได้ในหัวข้อที่ 1.4.3) จากรูปจะเห็นได้ว่า โดยสรุปแล้วความหนาแน่นเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 50 ล้านเท่า ตั้งแต่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรกได้ออกสู่ท้องตลาดในปี ค.ศ. 1956 โดยที่ การเติบโตของความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นผลเนื่องมาจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น หัวแม่เหล็ก (magnetic head), สื่อบันทึก, และระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processing) ในชิปช่องสัญญาณอ่าน (read-channel chip) เป็นต้น

จากรูปที่ 1.2 จะพบว่า หลังจากที่ได้มีการนำเทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุด[4] (PRML: partial-response maximum-likelihood) [8] และหัวแม่เหล็กแบบ MR (magneto-resistive)

[3]RAMAC = random access method of accounting and control

[4]ศึกษารายละเอียดได้ในบทที่ 4 ของหนังสือ "การประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เล่ม 2: การออกแบบวงจรภาครับ" [6]



รูปที่ 1.2: แนวโน้มการเจริญเติบโตของความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (จากเว็บไซต์ของบริษัทฮิตาชิ [7])

มาใช้งาน ก็ส่งผลทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ก็เพิ่มขึ้นจาก 30% CGR[5] ไปเป็น 60% CGR หลังจากปี ค.ศ. 1992 จากนั้นความหนาแน่นเชิงพื้นที่ก็เพิ่มขึ้นจาก 100% CGR เมื่อมีการนำหัวแม่เหล็กแบบ GMR (giant magneto-resistive) มาใช้งานในปี ค.ศ. 2000 จากการพัฒนาในด้านต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ถ้าสังเกตจะพบว่า ในปัจจุบันนี้ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจะมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ และความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ราคาต่อหนึ่งกิกะไบต์จะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีการแข่งขันทางด้านราคา และเทคโนโลยีค่อนข้างสูง

[5]CGR (compound growth rate) คือ อัตราการเติบโต (รายปี) ทบต้น ตัวอย่างเช่น 60% CGR หมายถึง ความหนาแน่นเชิงพื้นที่จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความหนาแน่นเชิงพื้นที่เดิม ในทุกๆ 18 เดือน

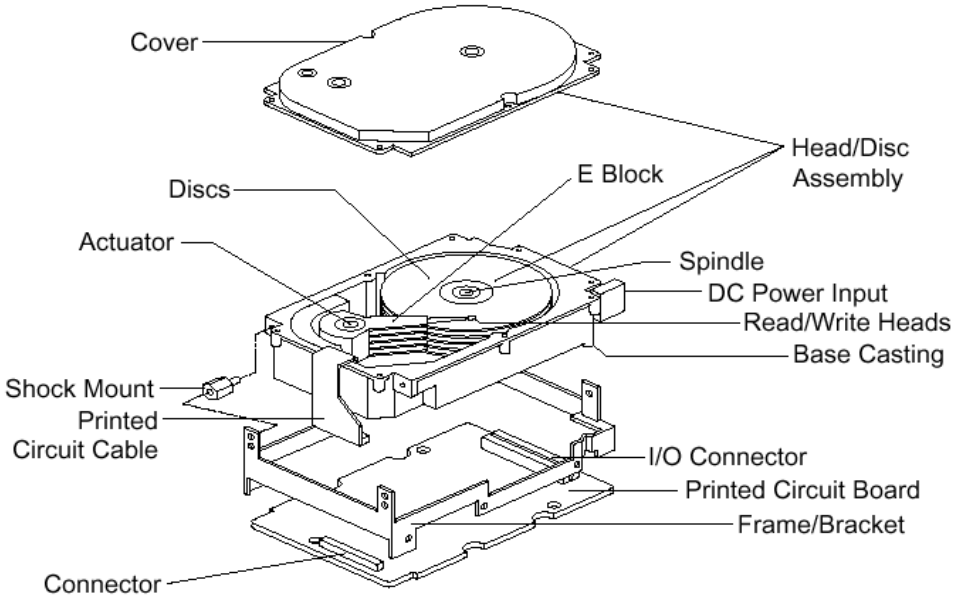
1.3 การบันทึกระบบแม่เหล็กคืออะไร

การบันทึกระบบแม่เหล็ก คือ การจัดเก็บข้อมูลบิตให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงระดับสภาพความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ในสื่อบันทึก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล การบันทึกระบบแม่เหล็กแบบแอนะล็อกจะเก็บสัญญาณ (signal) ในรูปของการเปลี่ยน แปลงระดับสภาพความเป็นแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง โดยระดับสภาพความเป็นแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับระดับของสัญญาณที่กำลังจะถูกจัดเก็บ ตัวอย่างเช่น การเก็บสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม การบันทึกระบบแม่เหล็กแบบดิจิทัลจะใช้ประโยชน์จากสมบัติของความเป็นแม่เหล็กของวัสดุบางชนิด ที่เมื่ออยู่ในสถานะอิ่มตัว (saturated) แล้ว จะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กมีทิศทางชี้ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบนี้เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลดิจิทัลที่มีสองสถานะ คือ บิต “1” และบิต “0” หรือที่เรียกกันว่า “ข้อมูลไบนารี (binary data)” ดังนั้น วัสดุเหล่านี้จึงถูกนำมาทำเป็นสื่อบันทึกเพื่อเก็บข้อมูลไบนารี

เนื่องจาก ข้อมูลในปัจจุบันส่วนมากจะอยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล เช่น ข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ และข้อมูลที่รับส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น นอกจากนี้ข้อมูลแอนะล็อกก็สามารถที่จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลได้ เพื่อให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการจัดเก็บข้อมูล โดยผ่านขั้นตอนการกล้ำรหัสพัลส์ (PCM: pulse code modulation) [9] เพราะฉะนั้น การบันทึกระบบแม่เหล็กแบบดิจิทัลจึงเหมาะสมกับการเก็บข้อมูลในปัจจุบัน จากนี้เป็นต้นไปในหนังสือเล่มนี้เวลาที่อ้างถึงคำว่า การบันทึกระบบแม่เหล็ก จะหมายถึง การบันทึกระบบแม่เหล็กแบบ**ดิจิทัล** นอกจากนี้จะสนใจเฉพาะการบันทึกระบบแม่เหล็กสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่านั้น

1.4 การบันทึกระบบแม่เหล็ก

การบันทึกระบบแม่เหล็กเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานทั่วไปของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พร้อมทั้งแสดงให้เห็นว่า ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถที่จะถูกจำลองให้อยู่ในรูปของระบบสื่อสารดิจิทัล (digital communication system) ได้ เพื่อที่จะได้สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่างๆ ทางด้านระบบสื่อสารมาใช้ในการอธิบายหลักการทำงานของระบบการประมวลผลสัญญาณที่ใช้ในชิปช่องสัญญาณอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ นอกจากนี้ยังจะกล่าวถึง โครงสร้าง

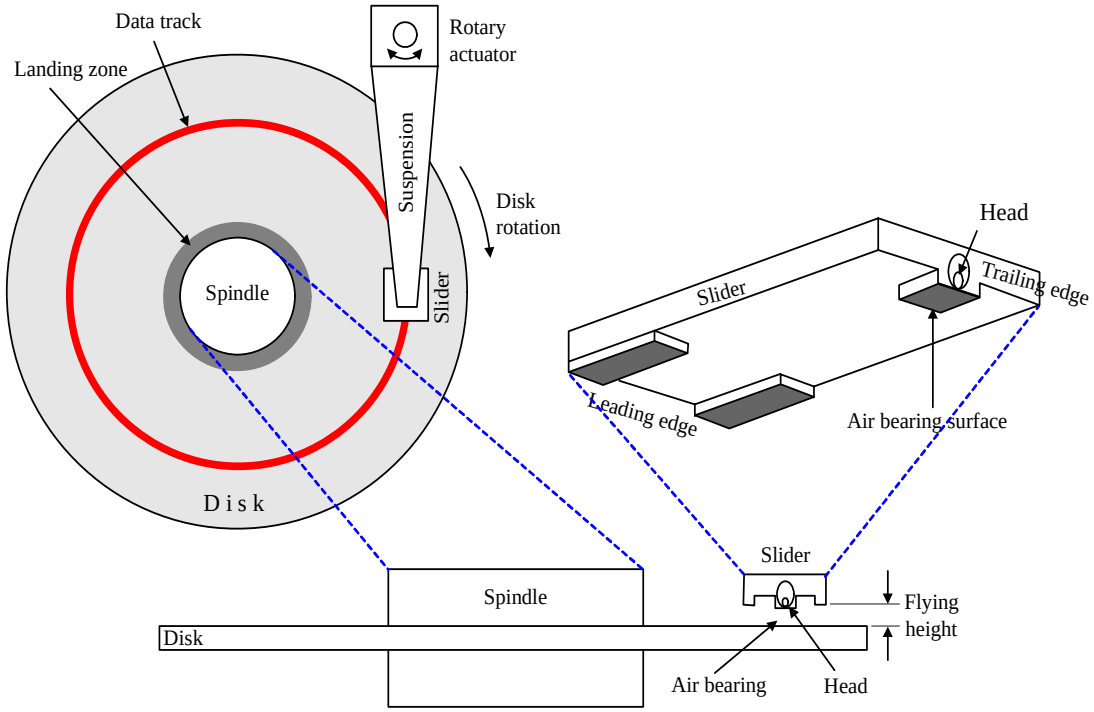


รูปที่ 1.3: โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [10] (รูปต้นแบบนำมาจากเว็บไซต์ของบริษัทซีเกท)

การจัดเก็บข้อมูล, วิวัฒนาการของหัวแม่เหล็ก, ความสำคัญของลูปฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop), และความหมายของซูเปอร์พาราแมกเนติก (superparamagnetic)

1.4.1 โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

รูปที่ 1.3 แสดงให้เห็นถึงภาพโครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีหลักการทำงานทั่วไปดังนี้ สัญญาณจะผ่านเข้าออกทางหัวอ่านและหัวเขียน (read/write heads) โดยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะอยู่บนแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า (printed circuit board) ที่ติดอยู่กับฝาครอบด้านล่างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยที่ ตัวไดรฟ์ (drive) จะถูกปิดผนึกอย่างดีเพื่อป้องกันสิ่งเปรอะเปื้อน (contamination) จากภายนอกที่จะเข้ามากระทบกับอุปกรณ์ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณที่รับและส่งจากหัวแม่เหล็ก, มอเตอร์สปินเดิล (spindle motor), และตัวควบคุมการเคลื่อนไหว (actuator)



รูปที่ 1.4: โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]

ตัวควบคุมการเคลื่อนไหวจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของปีกนก (suspension) ตามรูปที่ 1.4 โดยตัวควบคุมการเคลื่อนไหวจะเคลื่อนที่ไปรอบจุดหมุนที่กำหนด เพื่อที่จะควบคุมการวางตำแหน่งของหัวแม่เหล็กไปยังบริเวณต่างๆ ในแนวรัศมีบนจานบันทึก (disk) ซึ่งหัวแม่เหล็กนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายในตัวสไลเดอร์ (slider) ในทางปฏิบัติแล้ว หัวแม่เหล็กจะบินอยู่เหนือพื้นผิวของจานบันทึกเป็นระยะทางที่น้อยมาก (น้อยกว่า 10^{-6} นิ้ว) [1, 11] ในขณะที่ มอเตอร์สปินเดิลจะหมุนจานบันทึกด้วยความเร็วที่คงที่ในระหว่างที่ตัวไดรฟ์ทำงานอยู่ เมื่อตัวไดรฟ์หยุดทำงานหรือเข้าสู่ภาวะหลับ (sleep mode) สปินเดิลจะหยุดหมุน และตัวควบคุมการเคลื่อนไหวจะทำการเคลื่อนที่หัวแม่เหล็กไปยังบริเวณวงที่พักหัวอ่าน[6] (landing zone) ที่อยู่บริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจานบันทึก หรือที่อยู่บนทางลาดบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของจานบันทึก เพื่อที่จะยกหัวแม่เหล็กให้อยู่ห่างจากพื้นผิวของจานบันทึก

[6]พื้นผิวของบริเวณนี้จะมีความหยาบเพื่อหน่วงให้หัวแม่เหล็กหยุดการเคลื่อนไหว