

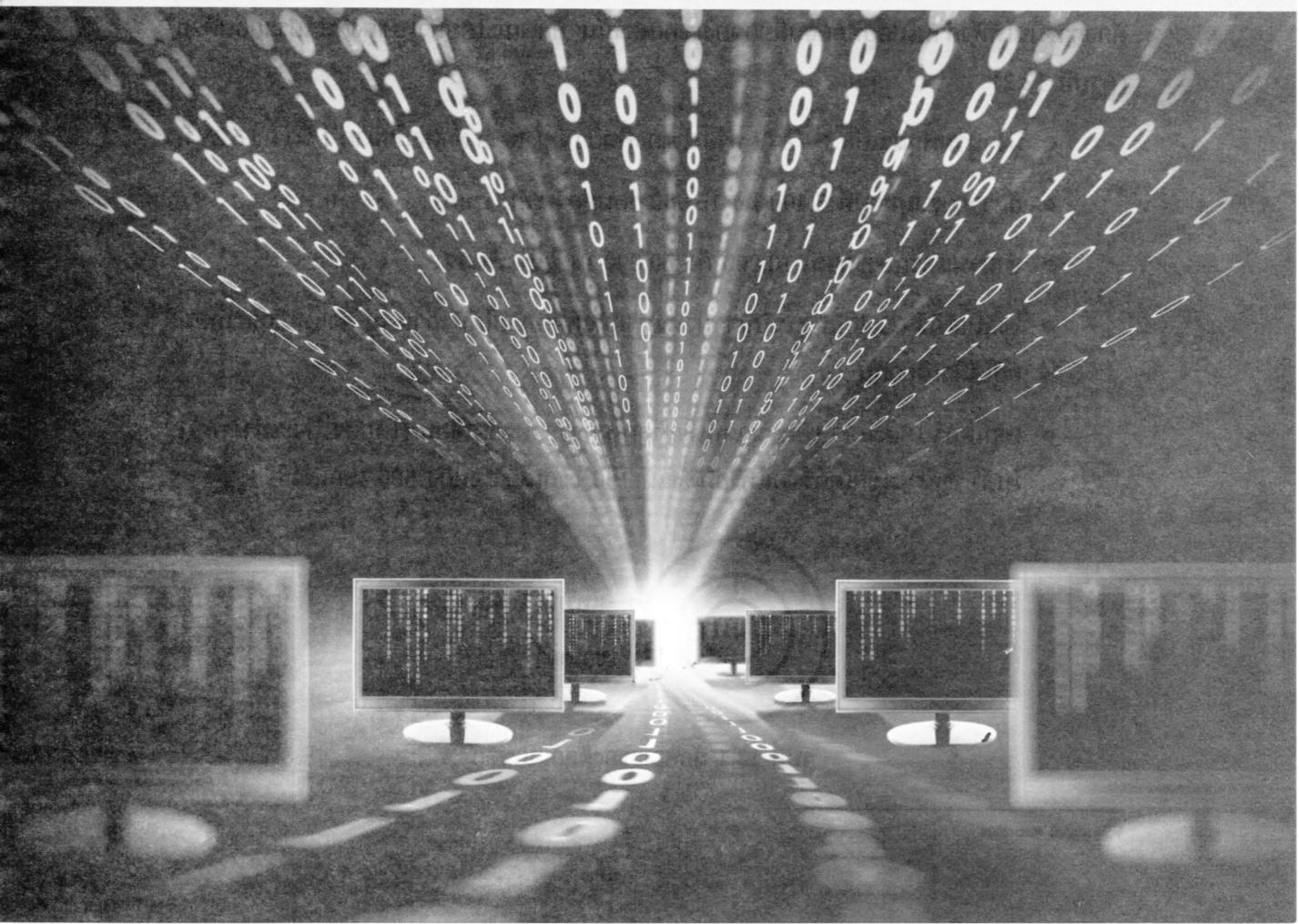
12

12

ระบบจัดเก็บข้อมูล

(Storage System)

Storage system

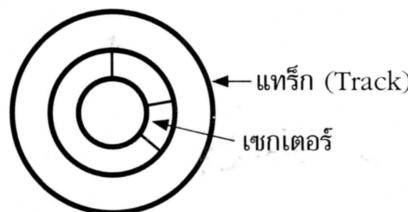


เครื่องคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีระบบจัดเก็บข้อมูลที่เหมาะสม เนื่องจากในการใช้งานปัจจุบัน แม้หน่วยความจำจะมีขนาดใหญ่ แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานในขณะนี้ นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นที่จะต้องการเก็บข้อมูลแบบถาวร ด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เช่น เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อช่วยสำรองข้อมูล ช่วยในการรักษาในกรณีระบบมีความเสียหายเกิดขึ้น เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของสื่อที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล เทคโนโลยีของสื่อ และหลักการทำงานในเบื้องต้น

■ 12.1 ดิสก์แม่เหล็ก

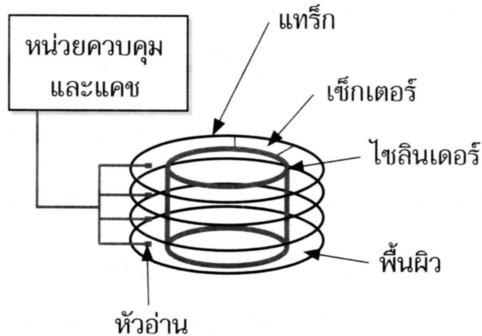
ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ดิสก์แม่เหล็กได้ถูกใช้ในการเก็บข้อมูลแบบถาวร ดิสก์แม่เหล็กมีลักษณะเป็นแผ่นกลมๆ ดังแสดงในรูปที่ 12.1 ในแผ่นจะแบ่งเป็นวงย่อยๆ ที่เรียกว่าแทร็ค (Track) ในแต่ละวงจะแบ่งเป็นช่องๆ เรียกว่าเซกเตอร์ (Sector) ในการเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ภายในเซกเตอร์จะต้องมีการเลื่อนหัวอ่าน (Seek) ไปยังแทร็คที่ต้องการ และจากนั้นจึงจะหมุนดิสก์ไปยังเซกเตอร์ที่ต้องการนั้นให้หัวอ่านไปอยู่ที่ต้องบล็อกของเซกเตอร์นั้น ลักษณะโดยทั่วไปของดิสก์ประกอบด้วย¹ (ดูรูปที่ 12.2)

- มีจำนวนพื้นผิวเป็น 1 – 4 (1 หรือ 2 ของพื้นผิว) Platters ต่อดิสก์ขนาด 1 นิ้ว ถึง 5.25 นิ้ว
- อัตราการหมุนอยู่ที่ 5,400 ถึง 15,000 รอบต่อวินาที (rpm)
- จำนวนแทร็คประมาณ 10,000 ถึง 50,000 แทร็คต่อพื้นผิว
- ไซลินเดอร์ (Cylinder) เป็นจำนวนแทร็คทั้งหมดภายในหัวอ่าน ณ ตำแหน่งที่กำหนดที่อยู่ใต้ผิวเดียวกัน
- เซกเตอร์ (Sector) เป็นขนาดที่เล็กที่สุดในการอ่านหรือเขียน (โดยทั่วไปจะเท่ากับ 512 ไบต์) จำนวนเซกเตอร์ต่อแทร็ค มีตั้งแต่ 100 เซกเตอร์ จนถึง 500 เซกเตอร์



รูปที่ 12.1 ลักษณะของดิสก์แม่เหล็ก

¹ ข้อมูลในปี ค.ศ. 2004



รูปที่ 12.2 องค์ประกอบของดิสก์

โดยทั่วไปแล้ว เวลาในการค้นหา (Seek Time) เคลื่อนจะอยู่ที่ 3 ถึง 14 มิลลิวินาที และในการอ่าน/เขียนข้อมูลนั้นจะได้ประโยชน์จากคุณสมบัติของ Locality of Reference ดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในบทที่ 9 ในทางปฏิบัติจะมีค่าเวลาในการค้นหาได้เพียง 25% ถึง 35% ของตัวเลขที่กำหนดไว้ใน Specification ของดิสก์นั้นๆ สำหรับอัตราการหมุนนั้นมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm) โดยทั่วไปแล้ว $1/2$ ของ $1/\text{rpm}$ เท่ากับมิลลิวินาที มีค่าระหว่าง $0.5/5400$ รอบต่อนาที หรือ 5.6 มิลลิวินาทีถึง $0.5/15,000$ รอบต่อนาที หรือ 2.0 มิลลิวินาที สำหรับเวลาในการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 30 ถึง 80 เมกะไบต์ต่อวินาที โดยทั่วไปแล้วจะอาศัย Locality ในเชิงพื้นที่สำหรับการเข้าถึงดิสก์ในแบบของหน่วยควบคุมดิสก์ ทำให้การโอนข้อมูลของแคชจะเร็วกว่าอยู่ที่ประมาณ 320 เมกะไบต์ต่อวินาที และสำหรับเวลาในการควบคุมที่เป็นส่วนอื่นๆ ของหน่วยควบคุมดิสก์นั้นอยู่กว่า 0.2 มิลลิวินาที

เข่น สำหรับการหาเวลาเฉลี่ยสำหรับการอ่านหรือเขียนเขกเตอร์ขนาด 512 ไบต์ และกำหนดให้ดิสก์มีอัตราการหมุน 10,000 รอบต่อนาที มี Seek Time เฉลี่ยที่ 7 มิลลิวินาที อัตราการรับ/ส่งข้อมูลอยู่ที่ 50 เมกะไบต์ต่อวินาที และมี Overhead ส่วนอื่นๆ ในการควบคุมเท่ากับ 0.3 มิลลิวินาที

$$\text{Disk Read/Write Time} \text{ เฉลี่ย} = 7.0 \text{ มิลลิวินาที} + 0.5/(10,000 \text{ รอบต่อนาที})$$

$$(60 \text{ วินาที/นาที}) + 0.5 \text{ กิโลไบต์}/(50 \text{ เมกะไบต์ต่อวินาที}) + 0.3 \text{ มิลลิวินาที}$$

$$= 7.0 + 3.0 + 0.01 + 0.3$$

$$= 10.31 \text{ มิลลิวินาที}$$

ถ้า Seek Time เคลี่ยมเพียง 25% ของตัวเลข Seek Time เคลี่ยที่กำหนดใน Specification

$$\begin{aligned} \text{Disk Read/Write Time เคลี่ย} &= 1.75 + 3.0 + 0.01 + 0.3 \\ &= 5.06 \text{ มิลลิวินาที} \end{aligned}$$

จะเห็นว่าเวลาที่มีค่ามากที่สุดที่สำคัญในการเข้าถึงดิสก์ ได้แก่ เวลาในการหมุน

จากเทคโนโลยีที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และตัววัดในบทที่ 3 จะพบว่าพัฒนาการของ Latency นั้นเป็นไปได้ช้าเทียบกับแบบดิจิตอล การพัฒนาการของเทคโนโลยีของหน่วยความจำและอินพุต/เอาต์พุตต่างให้ประโยชน์กับการพัฒนาแบบดิจิตอลทั้งสิ้น ส่วนพัฒนาการของฮาร์ดแวร์เองนั้นที่เอื้อต่อ Latency และในขณะเดียวกัน การที่ Latency มีค่าน้อยลงยังทำให้แบบดิจิตอลสูงขึ้นอีกด้วย พิจารณาตัวอย่างการรับ/ส่งข้อมูลวิดีโอข้างล่าง

สำหรับวิดีโอด้วยการคุณภาพสูง

$$\begin{aligned} \text{ข้อมูลดิจิตอล} &= (24 \text{ เฟรมต่อวินาที}) \times (640 \times 480 \text{ พิกเซล}) \times \\ &\quad (24 \text{ บิต Color ต่อพิกเซล}) \\ &= 176 \text{ เมกะบิตต่อวินาที} (22 \text{ เมกะไบต์ต่อวินาที}) \end{aligned}$$

สำหรับลัญญาณเสียงที่ต้องการคุณภาพสูง

$$\begin{aligned} \text{ข้อมูลดิจิตอล} &= (44,100 \text{ ตัวอย่างต่อวินาที}) \times (\text{แต่ละตัวอย่างมีขนาด 16 บิต}) \times \\ &\quad (2 \text{ ช่องสัญญาณเสียงสำหรับแบบสเตอริโอ}) \\ &= 2.8 \text{ เมกะบิตต่อวินาที} (0.352 \text{ เมกะไบต์ต่อวินาที}) \end{aligned}$$

ถ้ามีการบีบอัดข้อมูลจะลดการใช้แบบดิจิตอลไปอีก ทำให้สามารถรับ/ส่งข้อมูลได้มากขึ้นในหน่วยเวลา

สำหรับ Latency นั้น เราจะรู้สึกได้จากการรับรู้ การดู หรือการได้ยินเสียงหรือภาพ ในการส่งข้อมูลดิจิตอลเหล่านี้ต้องการรับประกันอัตราการส่งที่คงที่ และต้องการการรับ/ส่งภาพวิดีโอด้วยให้สอดคล้องกัน การรับประกันนี้เรียกว่า Quality of Service (QoS) โดยทั่วไปแล้ว อัตรา

การรับ/ส่งข้อมูลจะอยู่ที่ประมาณ 15 ถึง 20 มิลลิวินาที หรือ 30 ถึง 40 มิลลิวินาที

ตัววัดประสิทธิภาพของดิสก์อีกตัว ได้แก่ Reliability และ Dependability Availability

- Reliability เป็นการวัด Mean Time To Failure (MTTF) เป็นตัวบอกราวอายุการใช้งานของดิสก์จะน้อยลงเนื่องจากอาจจะต้องมีการนำไปซ่อม ทำให้ใช้ไม่ได้ในระยะเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่ใช้จนนำไปซ่อมนี้เรียกว่า Mean Time To Repair (MTTR) โดยมีหน่วยวัดเป็นชั่วโมง และ MTTF มีหน่วยเป็นสิบปี
- Availability เป็นการวัดความสำเร็จของการให้บริการว่าอุปกรณ์นั้นสามารถใช้งานได้จริงเป็นเวลานานเท่าไร

$$\text{Availability} = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}}$$

ในการเพิ่ม MTTF จะต้องปรับปรุงคุณภาพของการออกแบบระบบให้สามารถทำงานได้แม้ว่าจะมีส่วนต่างๆ ทำงานผิดพลาด (Fault) โดยอาศัยหลักการของ

1. Fault Avoidance เป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดการผิดพลาดดังแต่เริ่มสร้างระบบ
2. Fault Tolerance เป็นการเพิ่มความเข้าช้อนเพื่อให้การทำงานของระบบถูกต้องแม้ว่าจะมีองค์ประกอบที่เป็นข้อผิดพลาดอยู่

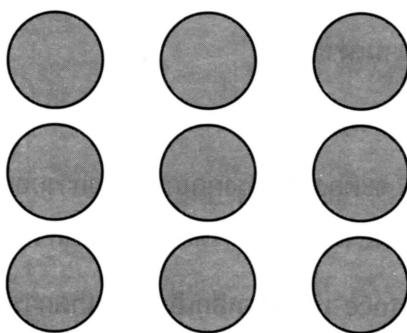
ระบบต้องประกอบด้วยการตรวจสอบข้อผิดพลาด (Fault Detection) และการแก้ไขข้อผิดพลาด (Fault Correction)

ข้อผิดพลาดแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบถาวร (Permanent Fault) และแบบชั่วคราว (Transient Fault) โดยที่ แบบถาวรเป็นแบบที่องค์ประกอบนั้นเสียหาย จะต้องนำส่วนนั้นไปซ่อมหรือต้องนำของใหม่มาทดแทน ส่วนแบบชั่วคราวจะหมายถึง องค์ประกอบนั้นทำงานผิดพลาดชั่วคราว เนื่องจากสภาพแวดล้อมแปรปรวน เช่น อุณหภูมิสูง ร้อน และเมื่ออุณหภูมิเย็นลง อาการก็จะหายไป

ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการใช้ความซับซ้อนเพื่อเพิ่ม Reliability ของดิสก์ที่เรียกว่า RAID ซึ่งมีหลายระดับด้วยกัน

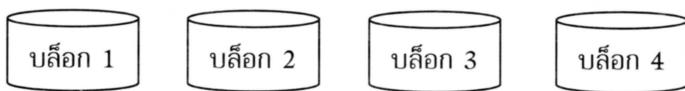
■ 12.2 RAID (Redundant Array of Inexpensive Disks)

RAID ประกอบด้วยดิสก์หลายตัวที่มีราคาไม่แพง มีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 12.3 เพื่อให้เพิ่ม Throughput โดยการใช้ดิสก์หลายๆ ตัว และมีการกระจายข้อมูลไปยังดิสก์หลายตัวเหล่านั้น ทำให้สามารถเข้าถึงหลายๆ ดิสก์ได้ในเวลาเดียวกัน และจะทำให้มี Reliability ที่ดีกว่าดิสก์เดียว และจะเพิ่ม Availability โดยการมีดิสก์ข้ามช้อน (Redundant) ถ้าดิสก์ใดเสีย ก็จะสามารถกู้ข้อมูลคืนได้จากข้อมูลที่ข้ามช้อนอยู่



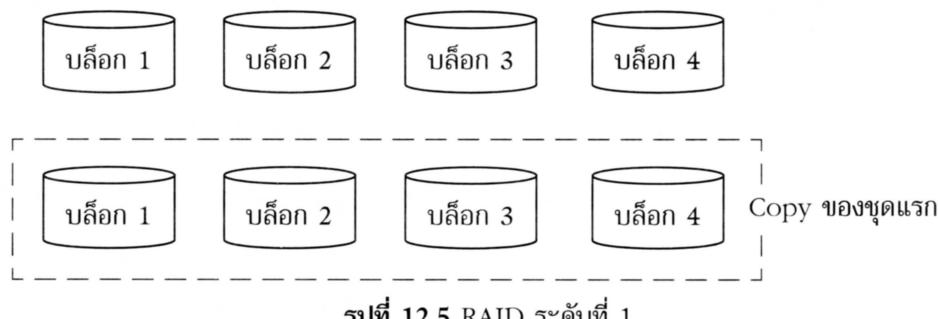
รูปที่ 12.3 ดิสก์ RAID

RAID ระดับที่ 0 ดังแสดงในรูปที่ 12.4 เป็นแบบไม่มีความซ้ำซ้อน จะใช้ดิสก์เล็กๆ หลายๆ ตัว กระจายบล็อกของข้อมูลเก็บบล็อกข้อมูลที่ต่างกันไปหลายๆ ดิสก์ (Striping) ทำให้สามารถเข้าถึงได้พร้อมกัน เป็นการเพิ่ม Throughput เช่น ถ้ามีดิสก์ 4 ตัว จะทำให้เพิ่ม Throughput เป็น 4 เท่าในราคาน้ำหนักที่เท่ากันใช้ดิสก์ใหญ่ๆ ตัวเดียว แต่ดิสก์จะมีโอกาสเสียมากถ้ามีจำนวนดิสก์มากขึ้น



รูปที่ 12.4 RAID ระดับที่ 0

RAID ระดับที่ 1 ในรูปที่ 12.5 มีความซ้ำซ้อน โดยใช้วิธีการ Mirroring จะใช้จำนวนดิสก์เพิ่มเป็น 2 เท่าจาก RAID 0 เช่น เป็น 8 ดิสก์ โดยแบ่งเป็นชุดละ 4 ดิสก์ ใช้ในการเก็บสำเนาของข้อมูล จำนวนดิสก์ที่ซ้ำซ้อนจะเท่ากับจำนวนข้อมูล และจะสิ้นเปลืองมากกว่าเป็น 2 เท่า ในการเขียนก็ต้องเขียนไปทั้ง 2 ชุด ทำให้มีประสิทธิภาพเป็นครึ่งหนึ่งของ RAID 0 แต่ถ้ามีดิสก์เสีย ก็จะสามารถไปคัดลอกออกจากอีกชุดได้

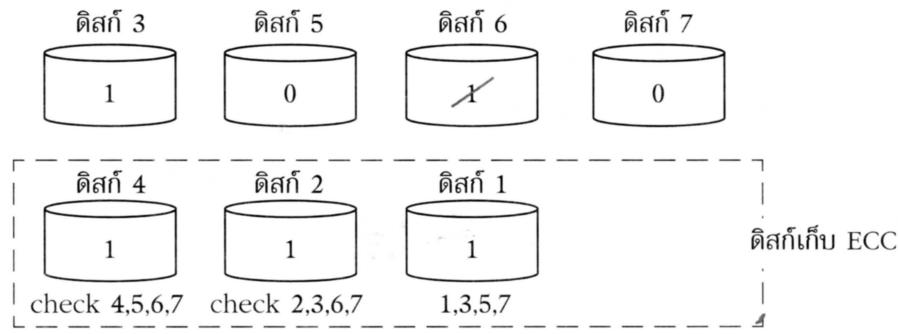


รูปที่ 12.5 RAID ระดับที่ 1

RAID ระดับที่ 0 + 1 เป็นการรวมระหว่างระดับที่ 0 และระดับที่ 1 โดยการเพิ่ม Striping ทำให้เพิ่ม Throughput เป็น 4 เท่า มีจำนวนติสก์ข้า้อข้อนเท่ากับจำนวนติสก์ข้อมูล จะสิ้นเปลืองมากกว่าใช้เพียง 1 ติสก์เป็น 2 เท่า การเขียนต้องเขียนไปทั้ง 2 ชุด ทำให้มีสมรรถนะเป็นครึ่งหนึ่งของ RAID 0 แต่ถ้ามีติสก์เสีย จะสามารถไปคัดลอกออกจากอีกชุดได้เร่งกัน

RAID ระดับที่ 2 ในรูปที่ 12.6 จะใช้วิธีการ ECC ในการจัดการความข้า้อข้อน แต่ละติสก์ที่ใช้วิธี ECC จะมีใช้ Parity ของข้อมูลสำหรับกลุ่มของติสก์ที่ทับข้อน (Overlap) กัน มีจำนวนติสก์ที่ข้า้อข้อนเท่ากับ Log ของจำนวนติสก์ข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นราคาก็จะเป็น 2 เท่าเทียบกับการใช้ติสก์ใหญ่เพียง 1 ตัว ในการเขียนก็จะต้องคำนวณ Parity สำหรับการเขียน ECC Disk และการอ่านก็จะต้องอ่านและตรวจสอบค่า Parity ถ้าติสก์เสียจะสามารถซ่อมแซมข้อมูลได้ในบางกรณีตามคุณสมบัติของค่า Parity

ในรูปที่ 12.6 มีติสก์ ECC 4 และ 2 จะซึ่งปะยังติสก์อันที่ 6 และ 7 แต่ติสก์ ECC 1 จะบอกว่าติสก์ 7 นั้นปกติ ดังนั้นติสก์ 6 จะต้องผิดพลาดหรือเสีย

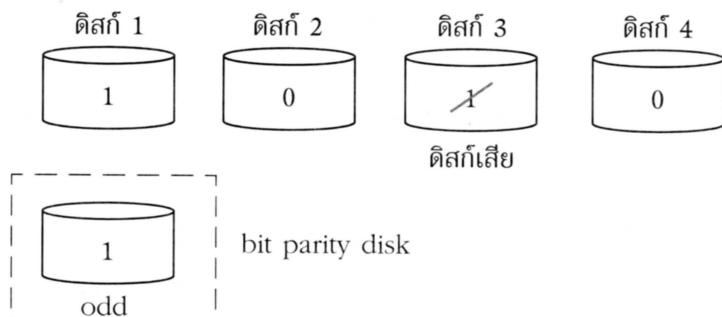


รูปที่ 12.6 RAID ระดับที่ 2

RAID ระดับ 3 ในรูปที่ 12.7 จะให้ค่า Availability เป็น $1/N$ เมื่อ N คือ จำนวนดิสก์ในกลุ่มที่มีการป้องกัน (Protection)

$$\text{จำนวนที่ดิสก์ที่เข้าข้อ = } 1 \times \text{ จำนวนของกลุ่มที่มีการป้องกัน}$$

ในการเขียนนั้น จะต้องเขียนข้อมูลไปยังดิสก์ข้อมูลและคำนวณค่า Parity ทำให้ต้องอ่านดิสก์อื่นเพื่อบรรบค่า Parity ถ้าดิสก์เสียจะสามารถขอรบกวนข้อมูลได้ในบางกรณี ตามคุณสมบัติของค่า Parity ในการอ่านจะต้องอ่านทุกดิสก์ที่ใช้ได้ เพื่อคำนวณและถูคืนข้อมูลที่อยู่ในดิสก์ที่เสีย

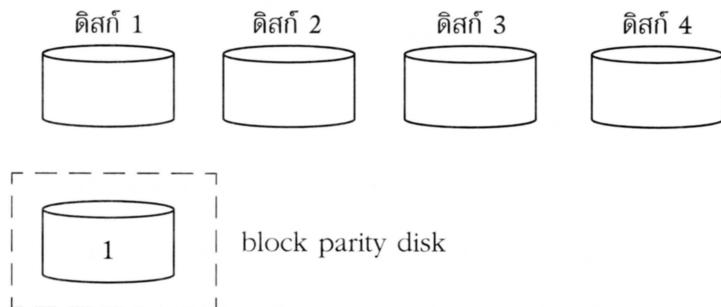


รูปที่ 12.7 RAID ระดับที่ 3

RAID ระดับที่ 4 ในรูปที่ 12.8 จะให้ค่า Availability เป็น $1/N$ เมื่อ N คือ จำนวนดิสก์ในกลุ่มที่มีการป้องกัน แต่จะเก็บค่า Parity ในดิสก์ Parity และเก็บเป็นบล็อก

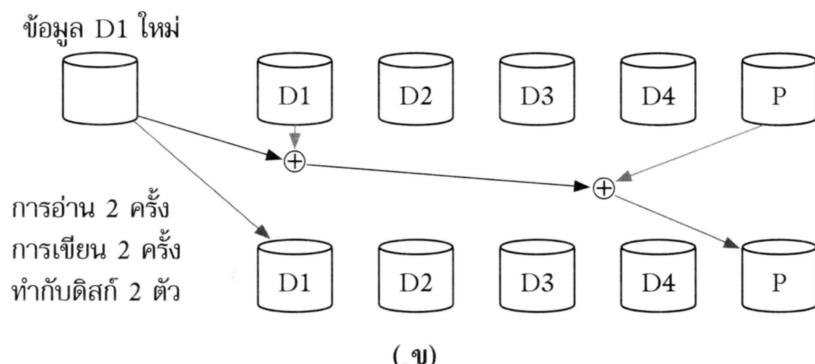
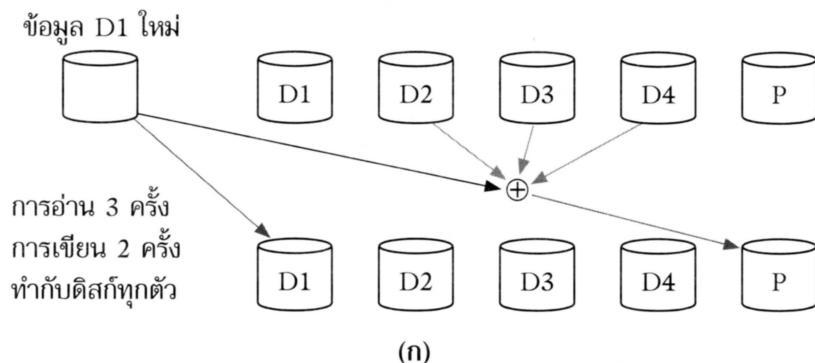
- จะให้ Throughput เป็น 4 เท่า
- จำนวนดิสก์ข้ามข้อน = $1 \times$ จำนวนของกลุ่มที่มีการป้องกัน
- รองรับการอ่านและเขียนจำนวนน้อย การอ่าน/เขียนจะทำไปยังดิสก์ในกลุ่มที่มีการป้องกัน โดยการตรวจสอบเฉพาะส่วนที่เปลี่ยนแปลงและเปลี่ยนบิตที่เกี่ยวข้องดิสก์ Parity จะต้องถูกเขียนบ่อยๆ ซึ่งจะเป็นค่าขาดได้

ถ้าดิสก์เสียจะสามารถขอรบกวนข้อมูลได้ในบางกรณีตามคุณสมบัติของค่า Parity การอ่านต้องอ่านทุกดิสก์ที่ใช้ได้และดิสก์ Parity เพื่อคำนวณถูคืนข้อมูลที่อยู่ในดิสก์ที่เสีย



รูปที่ 12.8 RAID ระดับที่ 4

เปรียบเทียบระดับที่ 3 และระดับที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 12.9



รูปที่ 12.9 เปรียบเทียบเมื่อมี Data D1 มาใหม่ในกรณี (n) RAID 3 (x) RAID 4

RAID ระดับที่ 5 ในรูปที่ 12.10 จะให้ค่า Availability เป็น $1/N$ เมื่อ N คือ จำนวนติสก์ แต่จะใช้ติสก์ไดๆ เป็นติสก์ Parity ก็ได้ ดังนั้น จะลดการเป็นคอขวดสำหรับการเขียนได้

จะให้ Throughput เป็น 4 เท่า

$$\text{จำนวนติสก์ช้าช้อน} = 1 \times \text{จำนวนของกลุ่มที่มีการป้องกัน}$$

รองรับการอ่านและเขียนที่ไม่มาก การอ่านเขียนจะทำไปยังติสก์ในกลุ่มที่มีการป้องกัน โดยการตรวจสอบเฉพาะส่วนที่เปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนบิตที่เกี่ยวข้องกับติสก์ Parity เท่านั้น

ถ้าไม่เขียนไปที่ติสก์เดียว ก็สามารถเขียนพร้อมกันได้

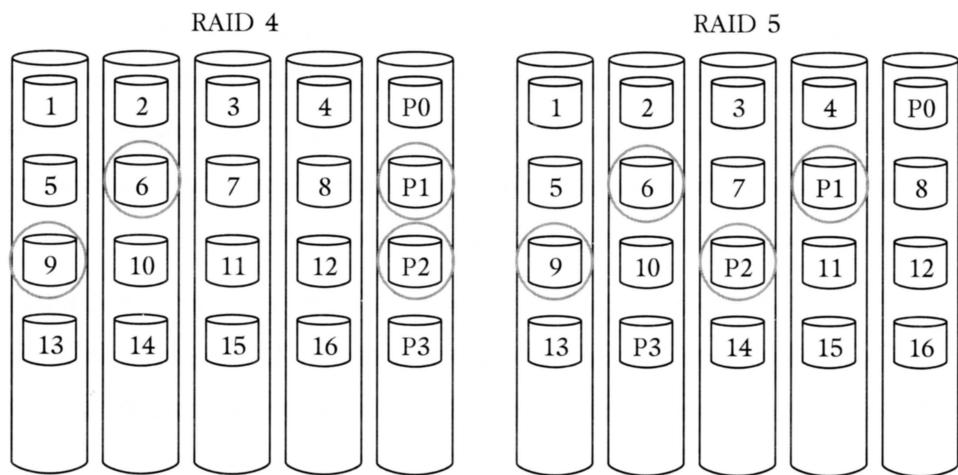
ถ้าติสก์เลี้ยงจะสามารถซ้อมแซมข้อมูลได้ในบางกรณีตามคุณสมบัติของค่า Parity การอ่านต้องอ่านทุกติสก์ที่ใช้ได้และติสก์ Parity เพื่อคำนวณข้อมูลที่อยู่ในติสก์ที่เสีย



หนึ่งในนี้ใช้เป็น Block Parity Disk

รูปที่ 12.10 RAID ระดับที่ 5 จะเลือกหนึ่งในนั้นเป็น Block Parity Disk

รูปที่ 12.11 แสดงการเปรียบเทียบ RAID ระดับที่ 4 และ RAID ระดับที่ 5 ใน RAID ระดับที่ 5 จะกระจายค่า Parity ติสก์ไปหลายๆ ติสก์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเขียน



รูปที่ 12.11 เปรียบเทียบ RAID 4 และ RAID 5

โดยทั่วไปแล้ว RAID ระดับที่ 0 และ RAID ระดับที่ 5 ใช้ในเซิร์ฟเวอร์ สำหรับ RAID ระดับที่ 1 (Mirroring) ใช้ในติสก์ของ EMC, Tandem และ IBM สำหรับ RAIDs เน้นด้านการจัดเก็บ สำหรับ RAID 4 เน้นในงานเกี่ยวกับอุปกรณ์เน็ตเวิร์ก

■ 12.3 ประสิทธิภาพของอินพุต/เอาต์พุต

ประสิทธิภาพของอินพุต/เอาต์พุตวัดได้หลายแบบ เช่น

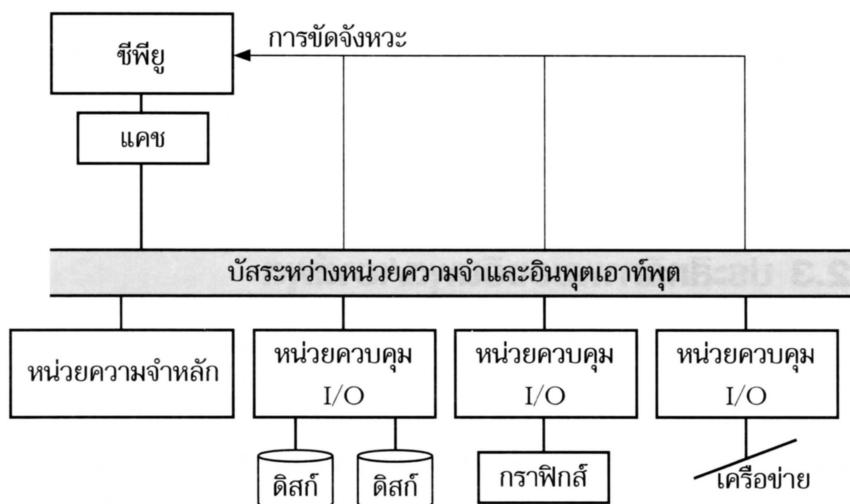
I/O Bandwidth เป็นจำนวนของข้อมูลที่สามารถสื่อสารได้ระหว่างชีพิญและหน่วยความจำต่อหน่วยเวลา แบบดิจิตอลจะบอกปริมาณข้อมูลที่สามารถรับ/ส่งได้ในเวลาหนึ่งๆ และจะบอกถึงจำนวนการดำเนินการของอินพุต/เอาต์พุต (I/O Operation) ที่ทำได้ใน 1 หน่วยเวลา เป็นการวัด Throughput นั่นเอง

I/O Response Time เป็นตัวบอกเวลาที่ใช้รับหรือส่งข้อมูลทั้งหมด เป็นประเภทของการวัด Latency

ส่วนใหญ่แล้วจุดหมายหลักของการมีประสิทธิภาพที่ดี คือ การเพิ่ม Throughput และลด Response Time

ในการออกแบบระบบอินพุต/เอาต์พุตตามข้อกำหนดของแบบนิเวอร์ หรือ Response Time นั้น หมายถึง การพยายามซ้อมแฟ้มส่วนที่เป็นคอกขวดของระบบ ซึ่งคือ ส่วนเชื่อมต่อที่ทำงานช้าที่สุดในระบบ โดยพิจารณาจากบัสระหว่างชีพียและหน่วยความจำ บัสอินพุต/เอาต์พุต หรือ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต เป็นต้น จากนั้นต้องทำการปรับแก้ส่วนที่เป็นคอกขวดนี้ให้ได้ตามข้อกำหนดรวมทั้งพิจารณาส่วนอื่นๆ ของระบบประกอบด้วยในขณะเดียวกัน

ตัวอย่างเช่น พิจารณารูปที่ 12.12 สำหรับดิสก์ที่ประกอบด้วยการอ่าน/เขียนจำนวน 64 กิโลไบต์ และชีพียสามารถทำงานได้ 200,000 คำสั่งต่อหนึ่ง I/O Operation ที่เกี่ยวกับดิสก์ (Disk I/O Operation) สมมติว่าชีพียทำงานได้ 3 พันล้านคำสั่งต่อวินาที และมีคำสั่ง 100,000 คำสั่งที่ต้องทำโดยระบบปฏิบัติการเพื่อใช้ในการจัดการแต่ละ Disk I/O Operation



รูปที่ 12.12 การซ้อมต่อบัสสำหรับตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพ

อัตราการรับส่งอินพุต/เอาต์พุตของดิสก์ที่มากที่สุดของชีพียเป็นเท่าไร

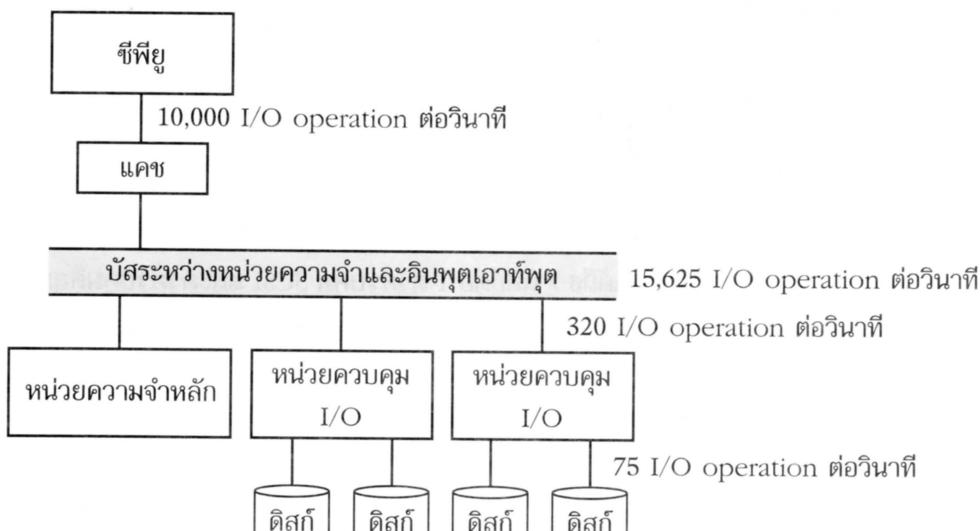
$$\frac{\text{อัตราการรับส่งของชีพีย}}{\text{จำนวนคำสั่งต่อ I/O Operation}} = \frac{3 \times 10^9}{(200 + 100) \times 10^3}$$

$$= 10,000 \text{ I/O Operation ต่อวินาที}$$

ถ้าให้บันทึกว่างหน่วยความจำและอินพุต/เอาต์พุต รองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 1,000 เมกะไบต์ต่อวินาที สำหรับดิสก์ที่มีการอ่านเขียนอินพุต/เอาต์พุตขนาด 64 กิโลไบต์ ให้หาอัตราของการดำเนินการของ I/O ที่มากที่สุดที่บันทึกจะรองรับได้

$$\frac{\text{แบบตัวเร็วของบัส}}{\text{จำนวนไบต์ต่อ I/O Operation}} = \frac{1000 \times 10^6}{64 \times 10^3} = 15,625 \text{ I/O Operation ต่อวินาที}$$

จากการคำนวนอธิบายได้ดังรูปที่ 12.13



จากรูปที่ 12.13 จะเห็นว่าตรงชีพีyuเป็นคงาด เพราะสามารถดำเนินการอินพุต/เอาต์พุตได้ในอัตราที่ต่ำกว่าส่วนอื่นๆ ทั้งหมด

สำหรับเวลาการอ่านเขียนอินพุต/เอาต์พุตนั้น ถ้าให้เวลาค้นหา (Seek) เคลี่ยรวมกับเวลาหมุนเท่ากับ 7 มิลลิวินาที

$$\begin{aligned}
 \text{Disk I/O Read/Write Time} &= \text{เวลาในการค้นหา (Seek Time)} + \\
 &\quad \text{เวลาในการหมุน (Rotational Time)} + \\
 &\quad \text{เวลาในการโอนข้อมูล (TransferTime)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7 \text{ มิลลิวินาที} + 64 \text{ กิกะไบต์} / (75 \text{ เมกะไบต์ต่อวินาที}) \\
 &= 7.9 \text{ มิลลิวินาที}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น แต่ละตัวสก์สามารถทำงานได้ในอัตรา 1,000 มิลลิวินาที/7.9 มิลลิวินาที หรือเท่ากับ อัตรา 127 อินพุต/เอาต์พุตต่อวินาที ถ้าต้องการทำให้ชี้พิจารณาitemที่เท่ากับ 10,000 อินพุต/เอาต์พุตต่อวินาที หรือเท่ากับว่าต้องใช้ $10,000/127 = 79$ ตัวสก์

ถ้าตัวควบคุมของอินพุต/เอาต์พุตของ SCSI ตัวสก์มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลของ DMA อยู่ที่ 320 เมกะไบต์ต่อวินาที และหน่วยควบคุมรองรับมากสุด 7 ตัวสก์ และมีตัวสก์ไดรฟ์ (Disk Drive) ที่มีแบบตัววิดีโอการอ่าน/เขียนเท่ากับ 75 เมกะไบต์ต่อวินาที มีเวลาค้นหา (Seek) เคลื่อนย้ายรวมกับเวลาหมุนเท่ากับ 7 มิลลิวินาที จงหาอัตราอินพุต/เอาต์พุตที่สามารถรองรับได้มากที่สุด และจำนวนตัวสก์ และจำนวนหน่วยควบคุม SCSI ที่ต้องการเพื่อให้ระบบทั้งหมดได้อัตรานั้น

ในการหาจำนวนหน่วยควบคุมตัวสก์ SCSI ที่ต้องใช้นั้น จะต้องรู้อัตราการรับ/ส่งโดยเฉลี่ยต่อตัวสก์ เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใส่ได้ถึง 7 ตัวสก์ต่อ 1 ตัวควบคุม SCSI และตัวควบคุมตัวสก์นั้นจะไม่ทำให้บัสระหว่างหน่วยความจำและอินพุต/เอาต์พุตหนักเกินไประหว่างการโอนข้อมูลของ DMA

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการโอนข้อมูลของตัวสก์ (Disk Transfer Rate)} &= \frac{\text{ขนาดข้อมูลสำหรับโอน}}{\text{เวลาในการโอน}} \\
 &= 64 \text{ กิกะไบต์} / 7.9 \text{ มิลลิวินาที} \\
 &= 8 \text{ เมกะไบต์ต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวควบคุม SCSI จะรองรับได้ทั้งหมด 7 ตัวสก์ด้วยอัตราการถ่ายโอนไม่เกิน 320 เมกะไบต์ต่อวินาที สำหรับบัสระหว่างหน่วยความจำและอินพุต/เอาต์พุต (1,000 เมกะไบต์/วินาที) และมีความต้องการทั้งหมด 69 ตัวสก์ และตัวควบคุมควบคุมได้ 7 ตัวสก์ ซึ่งหมายถึงจะต้องใช้ 69/7 ตัวควบคุมแบบ SCSI นั่นเอง

■ 12.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความจำสำรอง ตัวสก์แม่เหล็ก ตัววัดประสิทธิภาพ เกี่ยวกับตัวสก์แม่เหล็ก รวมทั้งตัวสก์ RAID ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 5 และปัจจัยต่างๆ เกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพของอินพุต/เอาต์พุต และตัวอย่างการคำนวณ

คำถ้ามก้าวยบท

1. จงอธิบายความหมายของ ไฮลินเดอร์ แทร็ก และเซกเตอร์
2. เวลาการเข้าถึงและสืบของดิสก์มีผลมาจากอะไรบ้าง และปัจจัยใดสำคัญที่สุด จงอธิบาย
3. จงอธิบายกลไกการทำงานของดิสก์แม่เหล็กเมื่อต้องการอ่านข้อมูล
4. RAIDS คืออะไร มีระดับ
5. ECC คืออะไร
6. วิธีการ Parity เป็นอย่างไร
7. การจัดเก็บดิสก์แบบช้าๆขอนในลักษณะของ RAID มีข้อดีและข้อเสียอย่างไรในด้านการอ่าน/เขียน การรับ/ส่งข้อมูล และความเสถียร
8. พิจารณารูปที่ 12.12 สำหรับดิสก์ที่ประกอบด้วยการอ่าน/เขียนจำนวน 128 กิโลไบต์ และโปรแกรมสามารถรันได้ 400,000 คำสั่งต่อ 1 Disk I/O Operation สมมติว่าซีพียูทำงานได้ 2 พันล้านคำสั่งต่อวินาที และ 100,000 คำสั่งของระบบปฏิบัติการ ใช้ในการจัดการแต่ละ Disk I/O Operation ให้หาอัตราอินพุต/เอาต์พุตของดิสก์ (I/O Disk Rate) ที่มากที่สุดของซีพียู และถ้าให้บาระหว่างหน่วยความจำและอินพุต/เอาต์พุตรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 500 เมกะไบต์ต่อวินาที สำหรับดิสก์ที่มีการอ่าน/เขียนอินพุต/เอาต์พุตขนาด 128 กิโลไบต์ ให้หาอัตรา I/O ที่มากที่สุดของบัส

