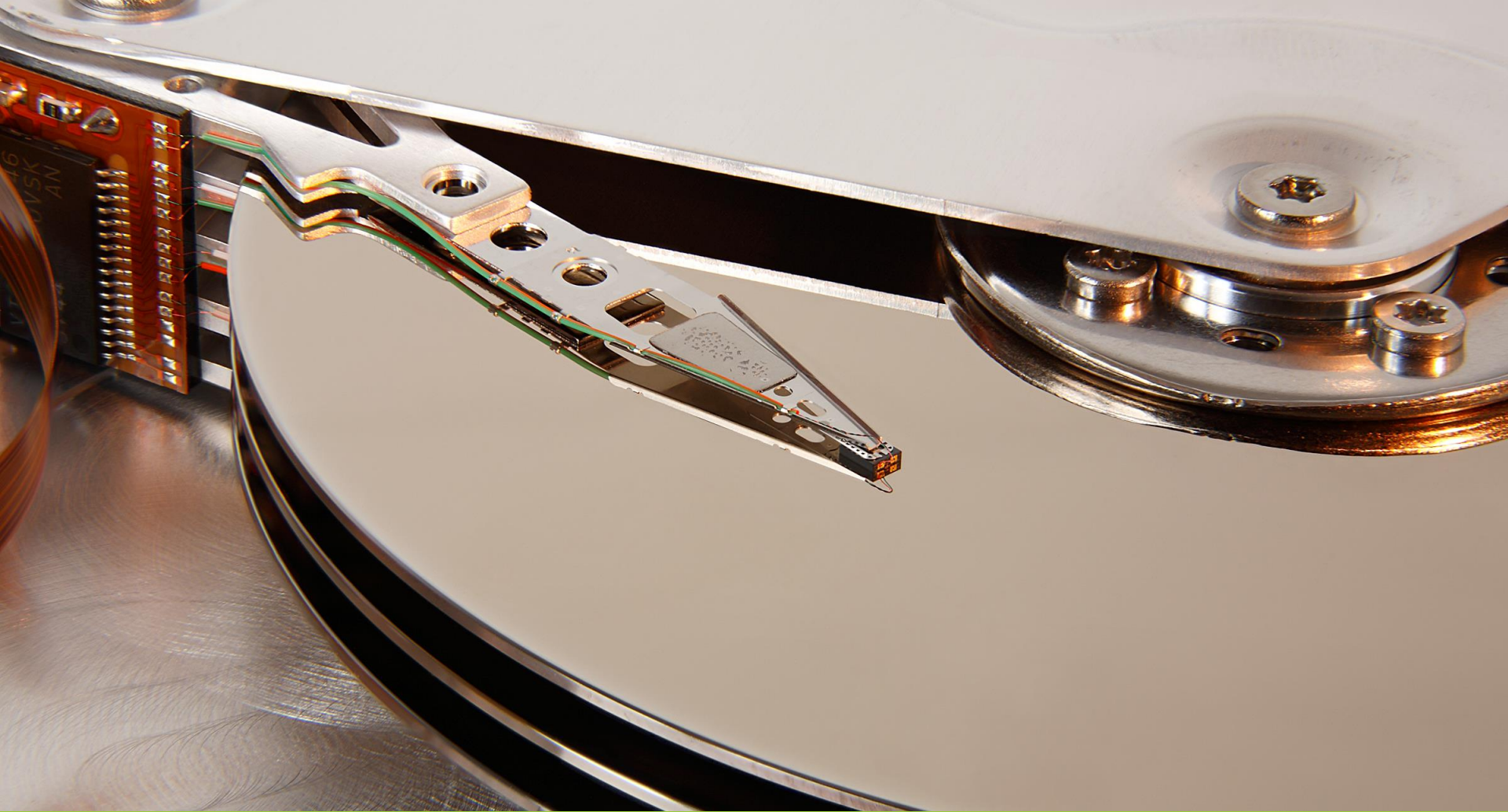




8. การนำข้อมูลเข้าและการส่งข้อมูลออก

Computer Architecture and Organizations

I/O (Input/Output)

หมายถึง การทำงานเกี่ยวกับการนำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ การส่งข้อมูลออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์

ข้อมูลในที่นี้หมายถึงข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในโปรเซสเซอร์และหน่วยความจำหลัก

หน่วยไอโอแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อเข้ากับบัสหลัก หรือสวิตช์ส่วนกลาง และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานจากอุปกรณ์เข้าสู่บัสหลัก

หน่วยไอโอเป็นหน่วยควบคุมที่มีความฉลาด มีความสามารถในการสื่อสารระหว่างบัสหลักกับอุปกรณ์ไอโอได้ด้วย

เหตุผลที่ไม่เชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอเข้ากับบัสหลักโดยตรง

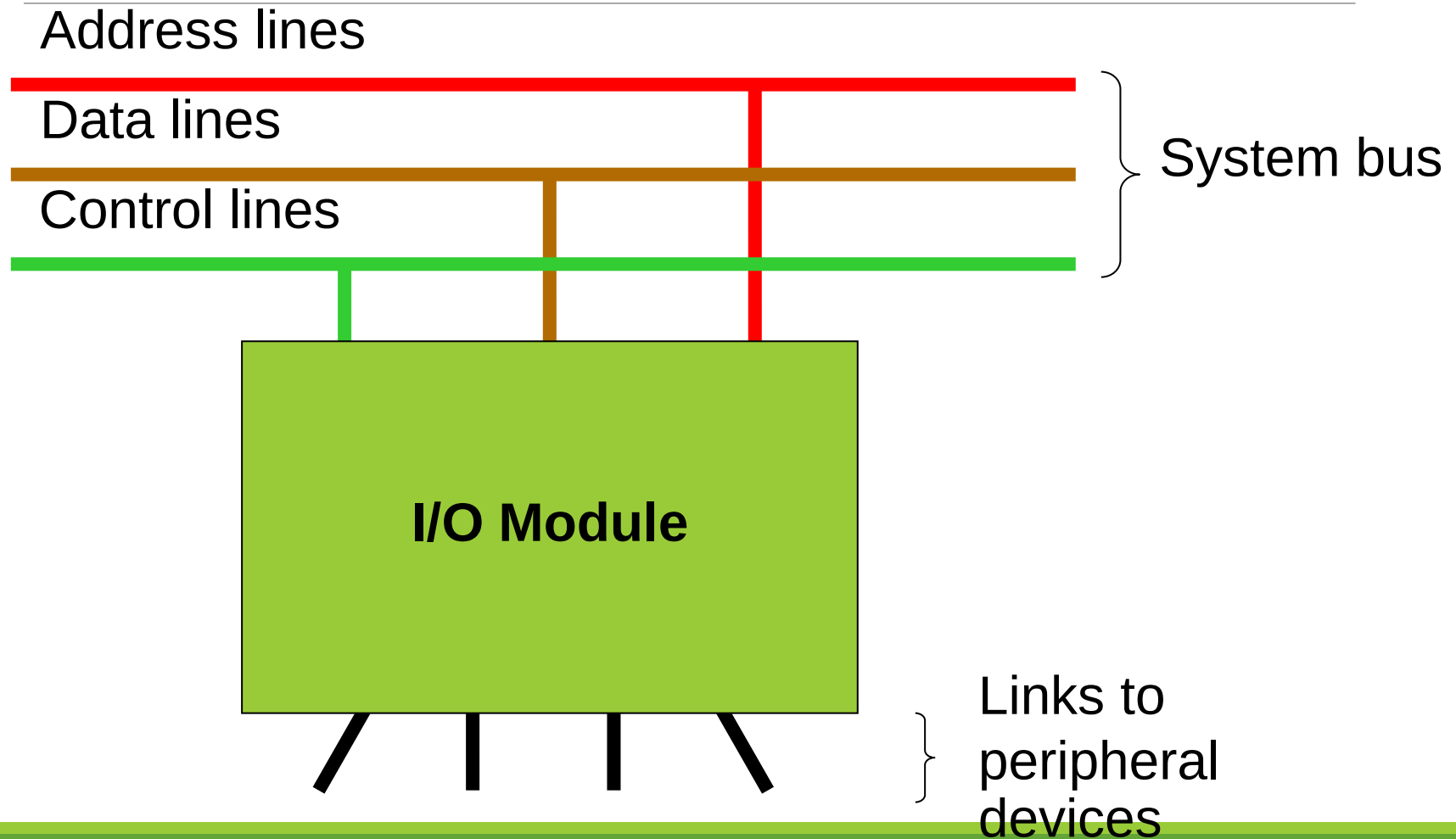
อุปกรณ์ไอโอหรืออุปกรณ์ต่อพ่วง (Peripheral) มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีวิธีการทำงานที่แตกต่างกัน จึงไม่เหมาะสมที่จะให้โปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดตามลำพัง

อัตราการถ่ายเทข้อมูลของอุปกรณ์ต่อพ่วงช้ากว่าความเร็วในการทำงานของโปรเซสเซอร์

อัตราการถ่ายเทข้อมูลของอุปกรณ์บางชนิดสูงกว่าความเร็วของหน่วยความจำหลัก หรือแม้กระทั่งโปรเซสเซอร์

อุปกรณ์ต่อพ่วงมักจะมีรูปแบบโครงสร้างข้อมูลหรือขนาดของ Word ไม่เหมือนกับรูปแบบหรือขนาดที่เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้

รูปแบบทั่วไปของโมดูลไอโอ



หน้าที่หลักของหน่วยควบคุมไอโอ

เป็นส่วนติดต่อกับโปรเซสเซอร์ หรือหน่วยความจำผ่านบัสหลัก หรือ
สวิตช์กลาง

เป็นส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วงอย่างน้อยหนึ่งอย่าง โดยปรับการ
ทำงานเชื่อมต่อข้อมูลให้เข้ากับอุปกรณ์นั้นๆ ได้เป็นอย่างดี

อุปกรณ์ภายนอก

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับไอโอสามารถทำได้ โดยการใช้อุปกรณ์ภายนอกที่มีให้เลือกอย่างมากมาย

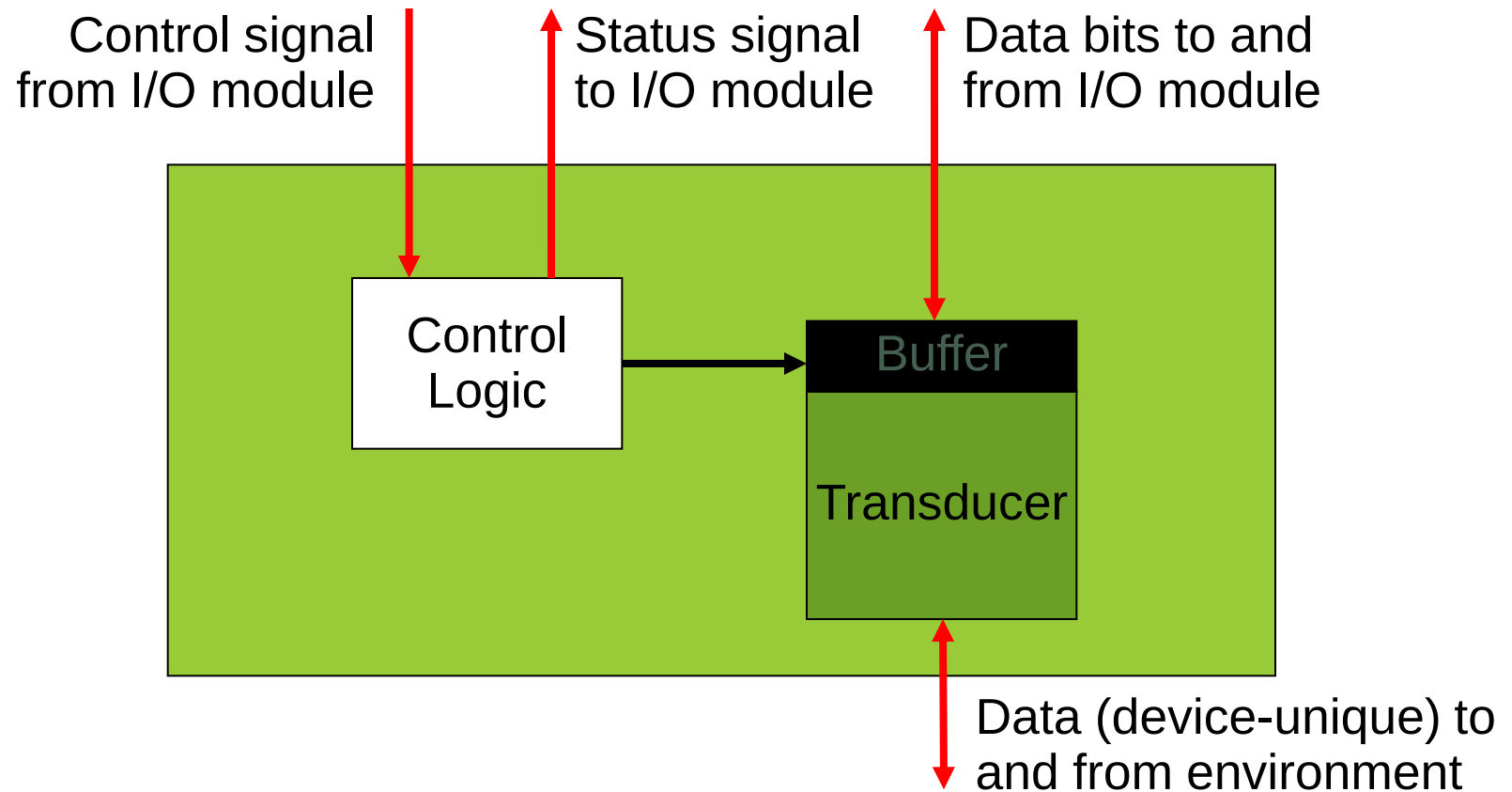
ในการนำมาซึ่งวิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสิ่งแวดล้อมภายนอกกับเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ภายนอกจะเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านไอโอโมดูล

การเชื่อมต่อจะเป็นตัวแลกเปลี่ยนการควบคุม สถานะ และข้อมูลระหว่างไอโอโมดูลกับอุปกรณ์ภายนอก

ประเภทของอุปกรณ์ต่อพ่วง

- ☐ มนุษย์สามารถอ่านได้ (Human readable)
- ☐ เครื่องสามารถอ่านได้ (Machine readable)
- ☐ การสื่อสาร (Communication)

ไดอะแกรมแบบบล็อกสำหรับอุปกรณ์ภายนอก



ฟังก์ชันการทำงานหลักของโมดูลไอโอ

- ☐ การควบคุมและการจับเวลา
- ☐ การสื่อสารระหว่างโปรเซส
- ☐ การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์
- ☐ การจัดการบัฟเฟอร์
- ☐ การตรวจสอบข้อผิดพลาด

การถ่ายเทข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมายังโปรเซสเซอร์

โปรเซสเซอร์ทำการติดต่อกับโมดูลไอโอ เพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานนั้น

โมดูลไอโอส่งข้อมูลแสดงสถานะกลับมาให้

ถ้าอุปกรณ์นั้นสามารถใช้งานได้ และพร้อมที่จะถ่ายเทข้อมูล โปรเซสเซอร์จะร้องขอการถ่ายเทข้อมูลผ่านการออกคำสั่งไปยังโมดูล ไอโอ

โมดูลไอโอได้รับข้อมูลชุดแรก (8 บิต หรือ 16 บิต) มาจากอุปกรณ์ภายนอก

ข้อมูลถูกถ่ายทอดจากโมดูลไอโอต่อไปให้กับโปรเซสเซอร์

การสื่อสารระหว่างโมดูลไอโอกับโปรเซสเซอร์

- ☐ การถอดรหัสคำสั่ง (Command decoding)
- ☐ ข้อมูล (Data)
- ☐ การรายงานสถานะ (Status reporting)
- ☐ การรับรู้ที่อยู่ (Address recognition)

การทำบัฟเฟอร์สำหรับข้อมูล (Data buffering)

อัตราการถ่ายเทข้อมูลของอุปกรณ์ต่อพ่วงช้ามากกว่าโปรเซสเซอร์และหน่วยความจำมาก

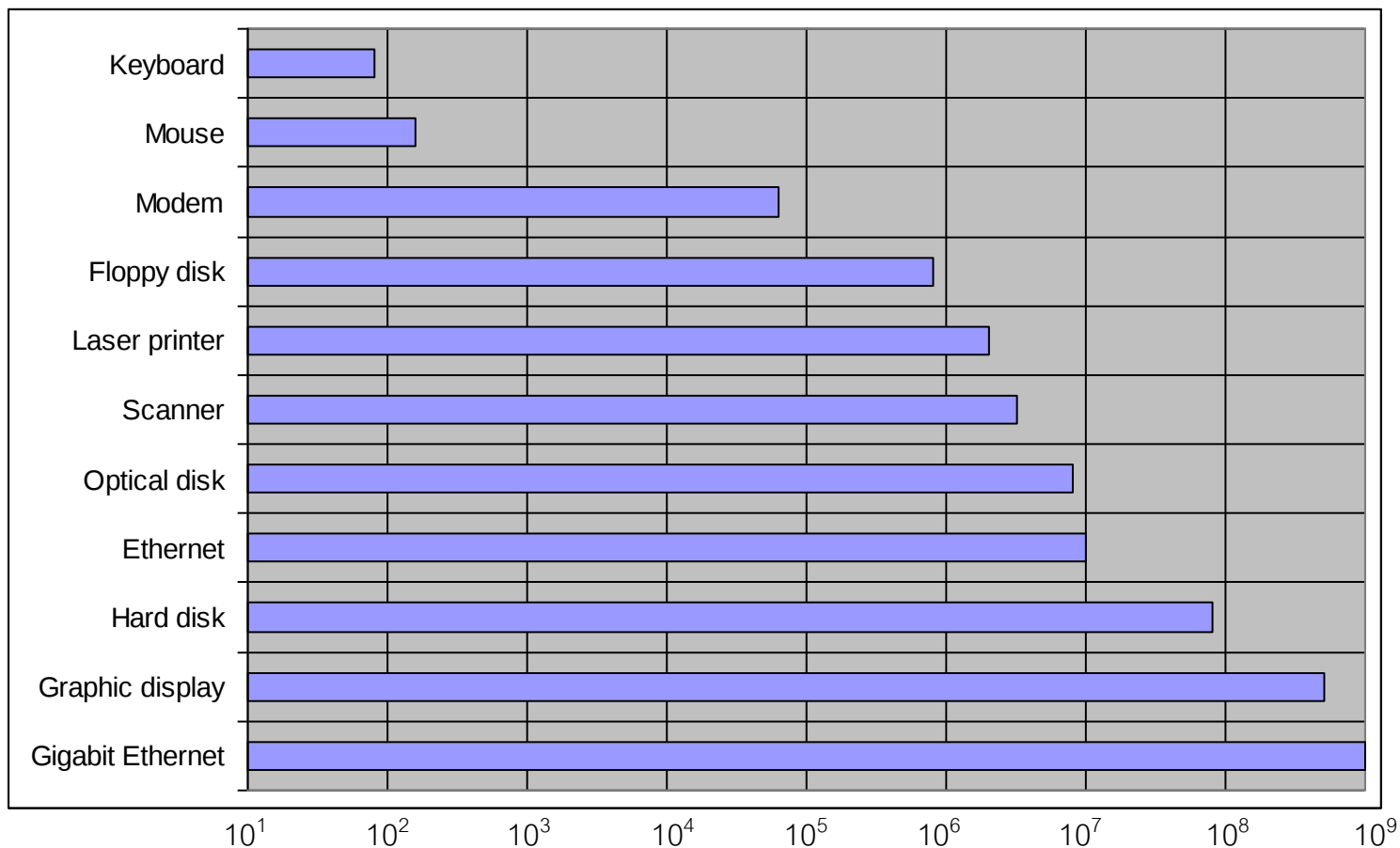
ข้อมูลที่ถูกส่งมาจากหน่วยความจำหลักถูกส่งมายังโมดูลไอโอในลักษณะที่มีความเร็วสูงมาก แต่เป็นช่วงสั้นๆ เรียกว่า Burst

ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ของโมดูลไอโอ จากนั้นจึงถูกส่งไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงด้วยความเร็วต่ำเท่ากับอุปกรณ์นั้นๆ

ในด้านที่รับข้อมูลก็จะทำงานที่ความเร็วสูงมาก เพื่อไม่ให้หน่วยความจำจะต้องมาถูกบังคับให้ทำงานช้าลงเพราะอุปกรณ์ความเร็วต่ำ

ถ้าอุปกรณ์ไอโอทำงานที่ความเร็วสูงมากกว่าที่หน่วยความจำจะทำงานตามได้ทันแล้ว โมดูลไอโอจะต้องใช้เทคนิคบัฟเฟอร์กับอุปกรณ์นั้น

อัตราการถ่ายเทข้อมูลของอุปกรณ์ไอโอโดยทั่วไป



การตรวจหาข้อผิดพลาดของข้อมูล (Error detection)

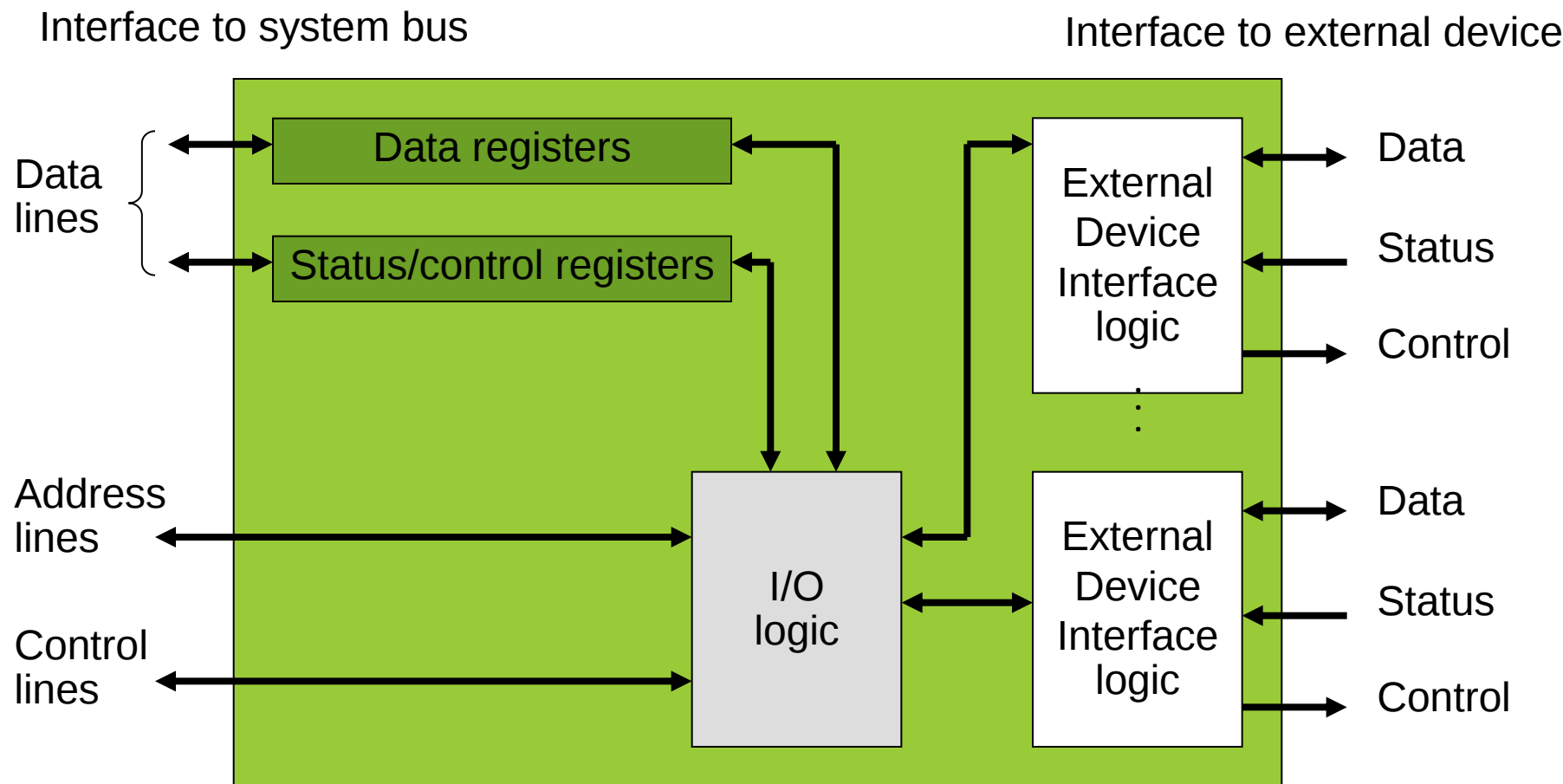
โมดูลไอโอจะมีความรับผิดชอบเกี่ยวกับการตรวจหาข้อผิดพลาดของข้อมูล และรับผิดชอบรายงานข้อผิดพลาดนั้นไปยังโปรเซสเซอร์

ประเภทข้อผิดพลาด

- ความเสียหายทางด้านกลไกและทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อุปกรณ์อาจส่งมาบอก เช่น กระดาศติด หมึกพิมพ์หมด ดิสก์เสีย เป็นต้น
- การเปลี่ยนแปลงโดยไม่ตั้งใจของบิตข้อมูลที่เกิดขึ้นในระหว่างการรับหรือส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ไอโอ

การตรวจหามักกระทำโดยการใช้ไค์ดรหัสในรูปแบบต่างๆ กัน รูปแบบที่ง่ายที่สุดคือ Parity bit สำหรับข้อมูลทุกตัวอักษร

โครงสร้างโมดูลไอโอ



หน้าที่ของโมดูลไอโอ

ทำหน้าที่อำนวยความสะดวกให้โปรเซสเซอร์สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไอโอต่างๆ ได้อย่างง่ายดาย เช่น

- ซ่อนรายละเอียดสำหรับการประสานจังหวะสัญญาณนาฬิกา
- การปรับรูปแบบข้อมูล และกลไกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุปกรณ์ไอโอภายนอก

ทั้งนี้เพื่อให้โปรเซสเซอร์สามารถทำงานได้ในรูปแบบคำสั่งของการอ่านหรือการบันทึกข้อมูล หรือการเปิด/ปิดแฟ้มข้อมูลเท่านั้น

ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด โมดูลไอโออาจจะทำงานเฉพาะที่จำเป็นอย่างที่สุดเท่านั้น และเหลือการทำงานทั้งหมดไว้ให้กับโปรเซสเซอร์เป็นผู้สั่งการและควบคุมเอง

ประเภทของโมดูลไอโอ

โมดูลไอโอที่รับการทำงานส่วนใหญ่ไปทำเอง ซึ่งมีการนำเสนอการเชื่อมต่อในระดับสูงให้กับโปรเซสเซอร์นั้นมักจะเรียกว่า I/O Channels หรือ I/O Processor มักจะพบในเครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม

โมดูลไอโอที่ทำงานน้อยและต้องอาศัยการควบคุมส่วนใหญ่จากโปรเซสเซอร์โดยตรงจะเรียกว่า I/O Controller หรือ Device Controller มักจะพบในเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

วิธีการควบคุมการทำงานของไอโอ

- ☐ Programmed I/O
- ☐ Interrupt-driven I/O
- ☐ Direct memory access (DMA)

การควบคุมไอโอด้วยโปรแกรม

เมื่อโปรเซสเซอร์ประมวลผลโปรแกรม และพบคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับไอโอ โปรเซสเซอร์จะประมวลผลคำสั่งนั้นด้วยการเรียกใช้ชุดคำสั่งที่เหมาะสมไปยังโมดูลไอโอ

ด้วยการควบคุมไอโอแบบใช้โปรแกรม โมดูลไอโอจะปฏิบัติตามคำสั่ง จากนั้นจะเปลี่ยนบิตที่เหมาะสมใน I/O status register

เมื่อปฏิบัติการเสร็จเรียบร้อยแล้วโมดูลไอโอก็จะไม่ทำอะไรอีกต่อไป ดังนั้นจึงเป็นความรับผิดชอบของโปรเซสเซอร์ที่จะต้องคอยตรวจสอบดูสถานะของโมดูลไอโอจนพบว่างานที่ได้ส่งไปทำนั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

การออกคำสั่งไอโอ

- ☐ การควบคุม (Control)
- ☐ การทดสอบ (Test)
- ☐ การอ่านข้อมูล (Read)
- ☐ การบันทึกข้อมูล (Write)

คำสั่งไอโอที่ถูกประมวลผล

การควบคุมไอโอแบบใช้โปรแกรมนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับไอโอที่โปรเซสเซอร์ดึงขึ้นมาจากหน่วยความจำ (โปรแกรม) เพื่อนำมาประมวลผล กับคำสั่งไอโอที่โปรเซสเซอร์สั่งให้โมดูลไอโอประมวลผลนั้นมีความสัมพันธ์กัน

คำสั่งจากหน่วยความจำสามารถแปลงให้เป็นคำสั่งที่ส่งไปให้โมดูลไอโอได้โดยง่าย ปกติจะแปลงแบบคำสั่งต่อคำสั่ง รูปแบบของคำสั่งจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายนอกที่ถูกอ้างอิง

อาจจะมีอุปกรณ์ไอโอจำนวนหนึ่งเชื่อมต่อเข้ากับโมดูลไอโอ อุปกรณ์แต่ละชนิดจึงได้รับหมายเลขที่อยู่เฉพาะไม่ซ้ำกัน เมื่อโปรเซสเซอร์ส่งคำสั่งไอโอมายังโมดูลไอโอ คำสั่งนั้นจะต้องระบุหมายเลขที่อยู่ด้วยเสมอ

Memory-mapped I/O

จะแบ่งหน่วยความจำส่วนหนึ่งไว้เป็นการเฉพาะสำหรับการเก็บข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ไอโอทั้งหมด รวมทั้งข้อมูลที่มีการส่งผ่านระหว่างกันด้วย

โปรเซสเซอร์จะถือว่ารีจิสเตอร์ข้อมูลและรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมดูลไอโอเป็นหน่วยความจำส่วนหนึ่ง จึงใช้คำสั่งในการอ้างอิงหรือการเข้าถึงหน่วยความจำและอุปกรณ์ไอโอเป็นคำสั่งอย่างเดียวกัน

ถ้าสายสัญญาณไอโอมีจำนวน 10 เส้น จะมีปริมาณหน่วยความจำที่ต้องใช้เป็น $1,024 (2^{10})$ ตำแหน่ง

การทำ Memory-mapped มีความต้องการใช้สายสัญญาณในบัสสำหรับอ่านข้อมูลและสำหรับบันทึกข้อมูลอย่างละหนึ่งเส้นเท่านั้น

Isolated I/O

บัสจะมีสายสัญญาณอ่านและบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำ และสายคำสั่งนำเข้าและส่งออกข้อมูล

สายคำสั่งจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดว่าหมายเลขที่อยู่นั้นเป็นการอ้างอิงถึงหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ไอโอ

ด้วยวิธีการนี้ทำให้โปรเซสเซอร์มีความสามารถในการอ้างอิงถึงตำแหน่งข้อมูล 1,024 ตำแหน่งในหน่วยความจำ และอีก 1,024 ตำแหน่งสำหรับอุปกรณ์ไอโอที่มีสายสัญญาณจำนวน 10 เส้น

เปรียบเทียบระหว่าง Memory-mapped และ Isolated I/O

สำหรับโปรเซสเซอร์ส่วนมากจะมีคำสั่งอ้างอิงหน่วยความจำอยู่เป็นจำนวนมาก ถ้านำเทคนิค Isolated I/O มาใช้จะทำให้มีคำสั่ง I/O เพียงจำนวนน้อย

Memory-mapped I/O จึงได้เปรียบตรงที่จะมีคำสั่งใช้งานเกี่ยวกับ I/O ได้มากมาย ทำให้มีทางเลือกในการเขียนโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพได้หลายทาง แต่วิธีการนี้จะทำให้มีปริมาณหน่วยความจำหลักลดลง

ไอโอที่ใช้กลไกอินเทอร์รัพท์

ปัญหาของการควบคุมไอโอโดยใช้โปรแกรมคือ โปรเซสเซอร์จะต้องรอเป็นระยะเวลานานเพื่อให้โมดูลไอโอมีความพร้อมในการรับหรือส่งข้อมูล ในระหว่างที่รอนั้นโปรเซสเซอร์ก็ต้องคอยตรวจสอบสถานะการทำงานของโมดูลไอโออยู่ตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบคอมพิวเตอร์ลดลงอย่างมาก

หนทางเลือกในการแก้ปัญหาคือ ให้โปรเซสเซอร์ส่งคำสั่งไอโอไปยังโมดูลไอโอ แล้วจึงไปทำงานอื่นที่มีประโยชน์มากกว่าการรอคอย

โมดูลไอโอจะขัดจังหวะการทำงานของโปรเซสเซอร์เมื่อมีความพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูล โปรเซสเซอร์จะเป็นตัวจัดการการถ่ายเทข้อมูลเหมือนเดิม ซึ่งเมื่อทำงานเสร็จแล้วก็จะกลับไปทำงานเดิมที่ค้างไว้

การทำงานทางด้านโมดูลไอโอสำหรับการอ่านข้อมูล

เมื่อโมดูลไอโอได้รับสัญญาณ READ จากโปรเซสเซอร์ ก็จะจัดการขอข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอที่เกี่ยวข้อง

เมื่อข้อมูลที่ต้องการถูกส่งเข้ามาอยู่ในรีจิสเตอร์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โมดูลไอโอจะส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ไปยังโปรเซสเซอร์ผ่านสายสัญญาณสำหรับการควบคุม

รองนกว่าจะได้รับสัญญาณร้องขอข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ โมดูลไอโอจะส่งข้อมูลเข้าไปในบัฟเฟอร์ข้อมูล และพร้อมที่จะรับคำสั่งต่อไป

การทำงานทางด้านโปรเซสเซอร์สำหรับการอ่านข้อมูล

โปรเซสเซอร์เริ่มต้นด้วยการส่งคำสั่ง READ ไปยังโมดูลไอโอ เสร็จแล้วก็หันไปทำงานอื่น

เมื่อโมดูลไอโอส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์เข้ามา โปรเซสเซอร์จะทำการบันทึกข้อมูลและสถานการณ์ทำงานในขณะนั้นไว้ แล้วไปเรียกโปรแกรมสำหรับอินเทอร์รัพท์นั้นขึ้นมาประมวลผลแทน (เรียกว่าทำ Context switch)

โปรแกรมจะสั่งให้โปรเซสเซอร์ทำการอ่านข้อมูลขนาดหนึ่งเวิร์ดมาจากรีจิสเตอร์ข้อมูลของโมดูลไอโอ แล้วเก็บไว้ในหน่วยความจำหลัก

เมื่อทำงานเสร็จแล้วก็จะอ่านข้อมูลและสถานะทั้งหมดของโปรแกรมที่ทำการประมวลผลอยู่ก่อนหน้านี้ เพื่อทำการประมวลผลโปรแกรมนั้นต่อไป

ปัญหาในการสร้างระบบไอโอที่ใช้กลไกอินเทอร์เน็ต

อุปกรณ์ไอโอและโมดูลไอโอนั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก โปรเซสเซอร์จะใช้วิธีการใดในการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ไอโอใดเป็นสิ่งที่ส่งสัญญาณ อินเทอร์เน็ตออกมา

ถ้าเกิดมีอินเทอร์เน็ตเกิดขึ้นซ้อนกัน โปรเซสเซอร์จะตัดสินใจอย่างไร

วิธีการแยกแยะหรือแสดงตนของอุปกรณ์ไอโอ

- ☐ การใช้สายสัญญาณอินเทอร์รัพท์หลายเส้น (Multiple interrupt lines)
- ☐ การทำซอฟต์แวร์โพล (Software poll)
- ☐ การต่อพ่วงอุปกรณ์เรียงตามลำดับ (Daisy chain)
- ☐ การครอบครองบัส (Bus arbitration)

การใช้สายสัญญาณอินเทอร์เน็ตหลายเส้น

การจัดให้มีสายสัญญาณอินเทอร์เน็ตหลายเส้น เป็นวิธีการที่ตรงไปตรงมาที่สุดในการแก้ปัญหา

ปัญหาในทางปฏิบัติคือ

- นักออกแบบคอมพิวเตอร์ไม่สามารถจะจัดหาสายสัญญาณได้มากกว่าสองถึงสามเส้น หรือมีขาเชื่อมต่อที่ตัวโปรเซสเซอร์เป็นจำนวนมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันได้
- ถึงแม้ว่าสามารถทำได้ก็ยังมีความเป็นไปได้มากกว่าสายสัญญาณแต่ละเส้นนั้นจะมีอินเทอร์เน็ตเกิดขึ้นจากอุปกรณ์มากกว่าหนึ่งตัวอยู่ดี

ซอฟต์แวร์โพล (1/2)

เมื่อโปรเซสเซอร์ตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัพท์ก็จะเรียกใช้โปรแกรมสำหรับจัดการบริหารอินเทอร์รัพท์ (General interrupt-service routine) ซึ่งจะทำการศึกษาอุปกรณ์ไอโอทีละตัวเพื่อหาตัวที่เป็นต้นกำเนิดของสัญญาณอินเทอร์รัพท์นั้น

การสอบถามอาจจะอยู่ในรูปของคำสั่งเฉพาะ ในกรณีนี้โปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณคำสั่ง และส่งสัญญาณที่อยู่ของอุปกรณ์ไอโอทีละตัวเข้าไปในสายบัสแสดงตำแหน่งที่อยู่ อุปกรณ์ไอโอทีที่เป็นต้นกำเนิดสัญญาณ อินเทอร์รัพท์จะตอบรับคำสั่งนี้

ซอฟต์แวร์โพล (2/2)

วิธีการที่เป็นไปได้อีกทางหนึ่งคือ โมดูลไอโอแต่ละตัวจะเก็บรีจิสเตอร์แสดงสถานะที่สามารถกำหนดตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ไอโอได้โปรเซสเซอร์ก็เพียงแต่อ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์เหล่านี้ ซึ่งสามารถค้นหาต้นกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ได้ เมื่อทราบตำแหน่งที่แน่ชัดแล้วโปรเซสเซอร์ก็จะเรียกโปรแกรมอินเทอร์รัพท์สำหรับอุปกรณ์นั้นมาประมวลผล

ข้อด้อยของวิธีการซอฟต์แวร์โพลคือ จะต้องเสียเวลาพอสมควรกว่าที่จะทราบตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์

การต่อพ่วงอุปกรณ์เรียงตามลำดับ

ทำหน้าที่เสมือนการทำโพลโดยฮาร์ดแวร์ อุปกรณ์ทุกตัวจะใช้สายสัญญาณอินเทอร์รัพท์ร่วมกัน

สายสัญญาณตอบรับอินเทอร์รัพท์จะถูกต่อพ่วงกันตามลำดับไปยังโมดูลไอโอ เมื่อโปรเซสเซอร์ตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัพท์ ก็จะส่งสัญญาณตรวจรับออกมา

สัญญาณตอบรับนี้จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ไอโอที่ละตัวไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงยังอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ออกมา อุปกรณ์นั้นมักจะตอบรับด้วยการส่งข้อมูลขนาดหนึ่งเวิร์ดออกมาเรียกว่า เวกเตอร์ (Vector)

เวกเตอร์จะเป็นตำแหน่งที่อยู่หรือหมายเลขเฉพาะของอุปกรณ์ไอโอ นั้น โปรเซสเซอร์จะใช้ข้อมูลนี้ในการเรียกโปรแกรมมาประมวลผล

การครอบครองบัล

โมดูลไอโอจะเริ่มต้นด้วยการพยายามยึดครองการใช้งานบัลให้ได้เสียก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ออกไป

วิธีการนี้ทำให้แน่ใจได้ว่า จะมีโมดูลไอโอเพียงโมดูลเดียวเท่านั้นที่จะสามารถส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ออกไปได้ในแต่ละครั้ง

เมื่อโปรเซสเซอร์ตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัพท์ และตอบรับมาทางสายสัญญาณตอบรับ โมดูลไอโอที่เป็นผู้ยึดครองบัลก็จะส่งข้อมูล vector ของตนเองกลับมา

ข้อเสียของระบบไอโอที่ใช้กลไกอินเทอร์รัพท์และ ไอโอที่ใช้โปรแกรมควบคุม

ทั้งสองระบบยังต้องอาศัยการทำงานของโปรเซสเซอร์ในการถ่ายเทข้อมูลระหว่างหน่วยความจำและโมดูลไอโอ นั่นคือข้อมูลทั้งหมดจะต้องเดินทางผ่านโปรเซสเซอร์เสมอ

อัตราการถ่ายเทข้อมูลจะถูกจำกัดโดยความเร็วที่โปรเซสเซอร์สามารถทดสอบและให้บริการแก่อุปกรณ์นั้นๆ ได้

โปรเซสเซอร์จะถูกดึงให้มาทำงานในระหว่างการถ่ายเทข้อมูลไอโอ โปรเซสเซอร์จะต้องทำการประมวลผลคำสั่งจำนวนหนึ่งสำหรับการถ่ายเทข้อมูลไอโอแต่ละครั้ง

การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMA)

วิธีการแบบเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงต้องใช้โมดูลเพิ่มเติมในบัสหลัก

โมดูลดีเอ็มเอมีความสามารถในการเลียนแบบการทำงานของโปรเซสเซอร์ เพื่อให้สามารถถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำหลักผ่าน บัสหลัก

โมดูลดีเอ็มเอจะใช้บัสได้เฉพาะในจังหวะที่โปรเซสเซอร์ไม่ต้องการใช้งาน เพื่อไม่ให้ขัดขวางการทำงานของโปรเซสเซอร์ มิฉะนั้นก็จะเป็นการบังคับให้โปรเซสเซอร์หยุดทำงานชั่วคราว

การทำงานของโปรเซสเซอร์เมื่ออ่านหรือบันทึกข้อมูล (1/2)

การอ่านหรือบันทึกข้อมูล จะใช้สายสัญญาณสำหรับการอ่านหรือบันทึกข้อมูลที่เชื่อมต่อระหว่างโปรเซสเซอร์กับโมดูลดีเอ็มเอ

ตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ไอโอที่เกี่ยวข้องจะถูกส่งผ่านทางสายสัญญาณข้อมูล

ตำแหน่งเริ่มต้นของหน่วยความจำที่จะอ่านหรือบันทึกข้อมูล จะถูกส่งผ่านสายสัญญาณข้อมูล หรือถูกจัดเก็บไว้ในรีจิสเตอร์แสดงตำแหน่ง ที่อยู่ภายในโมดูลไอโอ

จำนวนเวิร์ดของข้อมูลที่จะถูกอ่านหรือบันทึก จะถูกส่งผ่านสายสัญญาณข้อมูลเช่นเดียวกัน และจัดเก็บไว้ใน data count register

การทำงานของโปรเซสเซอร์เมื่ออ่านหรือบันทึกข้อมูล (2/2)

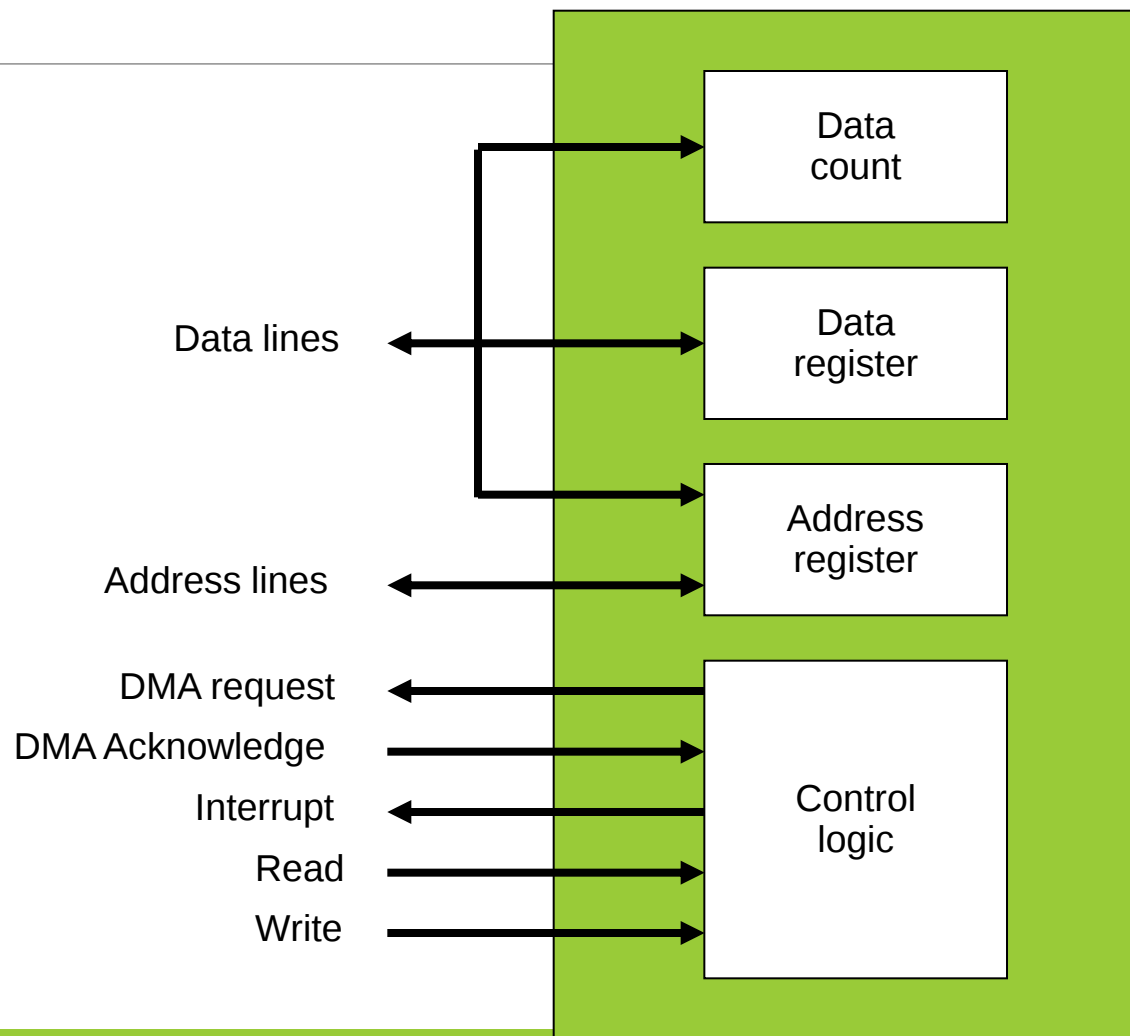
จากนั้นโปรเซสเซอร์ก็จะหันไปทำงานอ่าน เนื่องจากได้ออนการทำงานเกี่ยวกับไอโอมาให้โมดูลไอโอแล้ว

โมดูลไอโอจะถ่ายเทข้อมูลทั้งบล็อกครั้งละหนึ่งเวิร์ดไปยังหรือมาจากหน่วยความจำหลัก โดยที่ข้อมูลจะไม่ถูกส่งผ่านโปรเซสเซอร์เลย

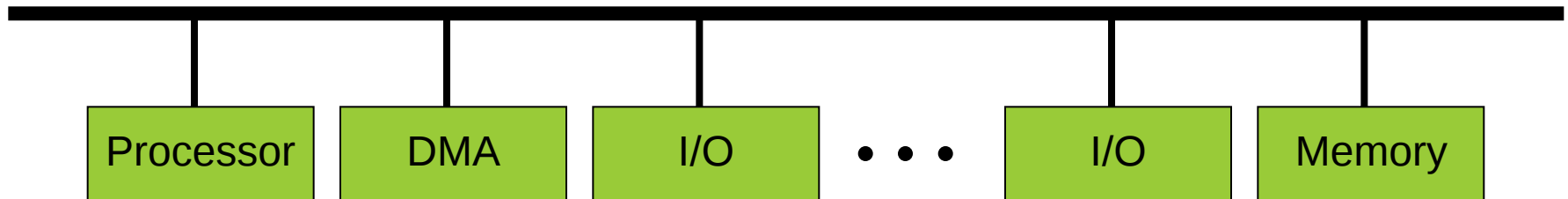
เมื่อการถ่ายเทข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว โมดูลดีเอ็มเอจึงส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ไปยังโปรเซสเซอร์

จะเห็นได้ว่าโปรเซสเซอร์เข้ามาเกี่ยวข้องเฉพาะตอนเริ่มต้นและตอนสิ้นสุดของการทำงานไอโอเท่านั้น

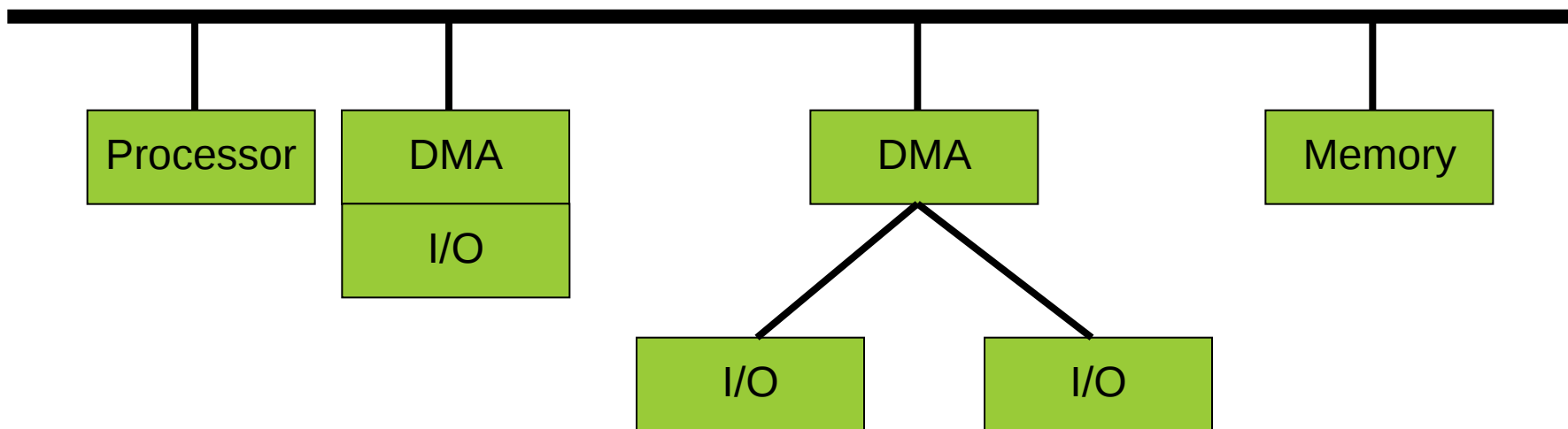
ไดอะแกรมแบบบล็อกสำหรับดีเอ็มเอโดยทั่วไป



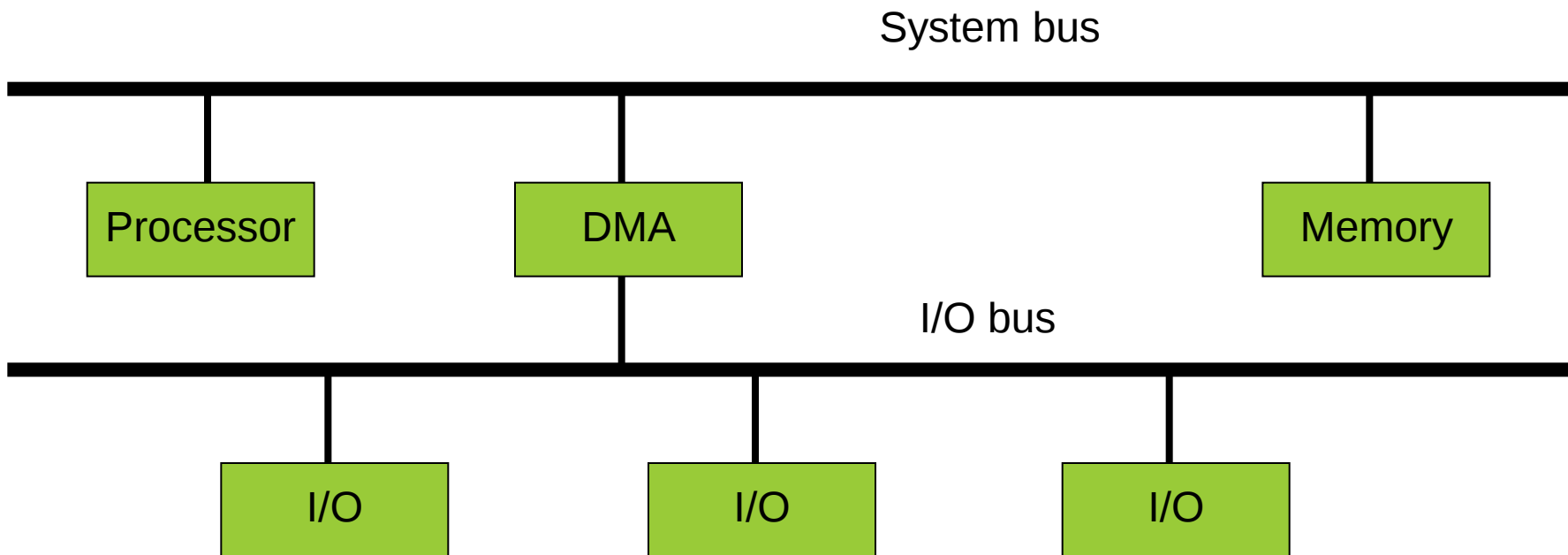
การจัดรูปทรงแบบ Single-bus, detached DMA



การจัดรูปทรงแบบ Single-bus, integrated DMA-I/O



การจัดรูปแบบ I/O bus



วิวัฒนาการของฟังก์ชันไอโอ (1/3)

1. โปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วงโดยตรง ซึ่งจะเห็นได้จากอุปกรณ์ที่เรียกว่า Microprocessor-controlled devices
2. หน่วยควบคุมหรือโมดูลไอโอได้รับการเพิ่มเติมเข้ามาในระบบคอมพิวเตอร์ ซีพียูควบคุมไอโอโดยใช้โปรแกรมที่ไม่มีอินเทอร์รัพท์เข้ามาช่วย ในขั้นตอนนี้ ซีพียูได้เริ่มแยกตัวออกจากการเป็นส่วนเดียวกับส่วนติดต่อภายนอกอุปกรณ์
3. ขั้นตอนที่สองยังคงถูกนำมาใช้ แต่ได้เพิ่มอินเทอร์รัพท์เข้ามาด้วย ซีพียูไม่ต้องเสียเวลารอคอยการทำงานของไอโออีกต่อไป ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น

วิวัฒนาการของฟังก์ชันไอโอ (2/3)

4. โมดูลไอโอสามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้โดยตรงผ่านดีเอ็มเอ ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายบล็อกข้อมูลไปยัง หรือมาจากหน่วยความจำได้ โดยไม่ต้องนำซีพียูเข้ามาเกี่ยวข้อง ยกเว้นตอนเริ่มต้นและตอนสิ้นสุดการทำงานเท่านั้น
5. โมดูลไอโอได้รับการขยายขีดความสามารถ ทำให้กลายเป็นโปรเซสเซอร์เสียเอง ซึ่งมีชุดคำสั่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาสำหรับงานทางไอโอโดยเฉพาะ ซีพียูสั่งการให้โปรเซสเซอร์ไอโอประมวลผลคำสั่งไอโอโปรแกรมในหน่วยความจำ โปรเซสเซอร์ไอโอจะดึงและประมวลผลคำสั่งเหล่านี้โดยที่ซีพียูไม่ต้องเข้ามาช่วยเหลือเลย กระบวนการนี้ช่วยให้ซีพียูสามารถออกคำสั่งไอโอเป็นชุดโดยไม่ต้องเข้ามาทำงานใด นอกจากเมื่อคำสั่งทั้งชุดนี้ได้ทำเสร็จแล้วเท่านั้น

วิวัฒนาการของฟังก์ชันไอโอ (3/3)

6. โมดูลไอโอมีหน่วยความจำเป็นของตนเอง หรือกลายเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ทำให้สามารถประมวลผลงานไอโอขนาดใหญ่ได้โดยไม่ต้องใช้ซีพียูของระบบคอมพิวเตอร์ สถาปัตยกรรมในลักษณะนี้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมการสื่อสารกับเทอร์มินอลแบบที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ โปรเซสเซอร์ไอโอจะควบคุมการทำงานเกือบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเทอร์มินอลนั้น

ช่องสื่อสารไอโอ (I/O Channel)

เกิดขึ้นจากการขยายขีดความสามารถของสถาปัตยกรรมดีเอ็มเอ (DMA)

ช่องสื่อสารไอโอมีความสามารถในการประมวลผลคำสั่งไอโอ ซึ่งจะถูกควบคุมโดยสมบรูณ์

คำสั่งไอโอจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อรอให้โปรเซสเซอร์พิเศษในช่องสื่อสารไอโอเป็นผู้ทำการประมวลผล

ซีพียูเพียงแต่ออกคำสั่งกระตุ้นการถ่ายเทข้อมูลไอโอ ด้วยการสั่งให้ช่องสื่อสารไอโอทำการประมวลผลคำสั่งในหน่วยความจำ

โปรแกรมคำสั่งจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง พื้นที่ในหน่วยความจำที่จะนำมาใช้ในการบันทึกข้อมูล ระดับความสำคัญ และวิธีการตอบสนองต่อข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

Selector channel

ควบคุมอุปกรณ์ความเร็วสูงได้หลายตัว และจะทำการถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์เหล่านี้ได้ครั้งละหนึ่งตัว

ช่องสื่อสารไอโอจะเลือกอุปกรณ์ขึ้นมาหนึ่งตัว แล้วจึงทำการถ่ายโอนข้อมูล

อุปกรณ์แต่ละตัวหรืออุปกรณ์กลุ่มหนึ่งจะถูกควบคุมโดย หน่วยควบคุม (Controller) หรือโมดูลไอโอ

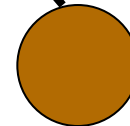
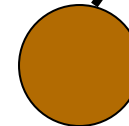
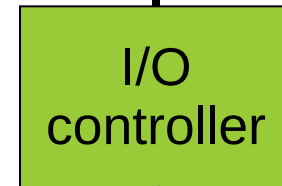
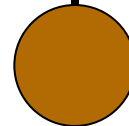
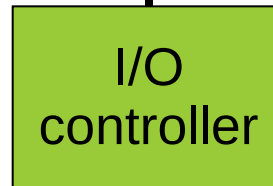
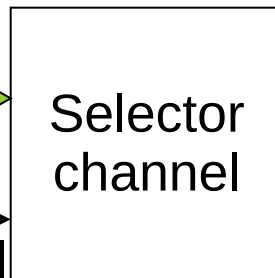
ช่องสื่อสารไดโอจึงเข้ามาควบคุมการทำงานของหน่วยควบคุมไอโอแทนซีพียู

Selector channel

Data and
address
channel to
main memory



Control signal
path to CPU



...

Multiplexer channel

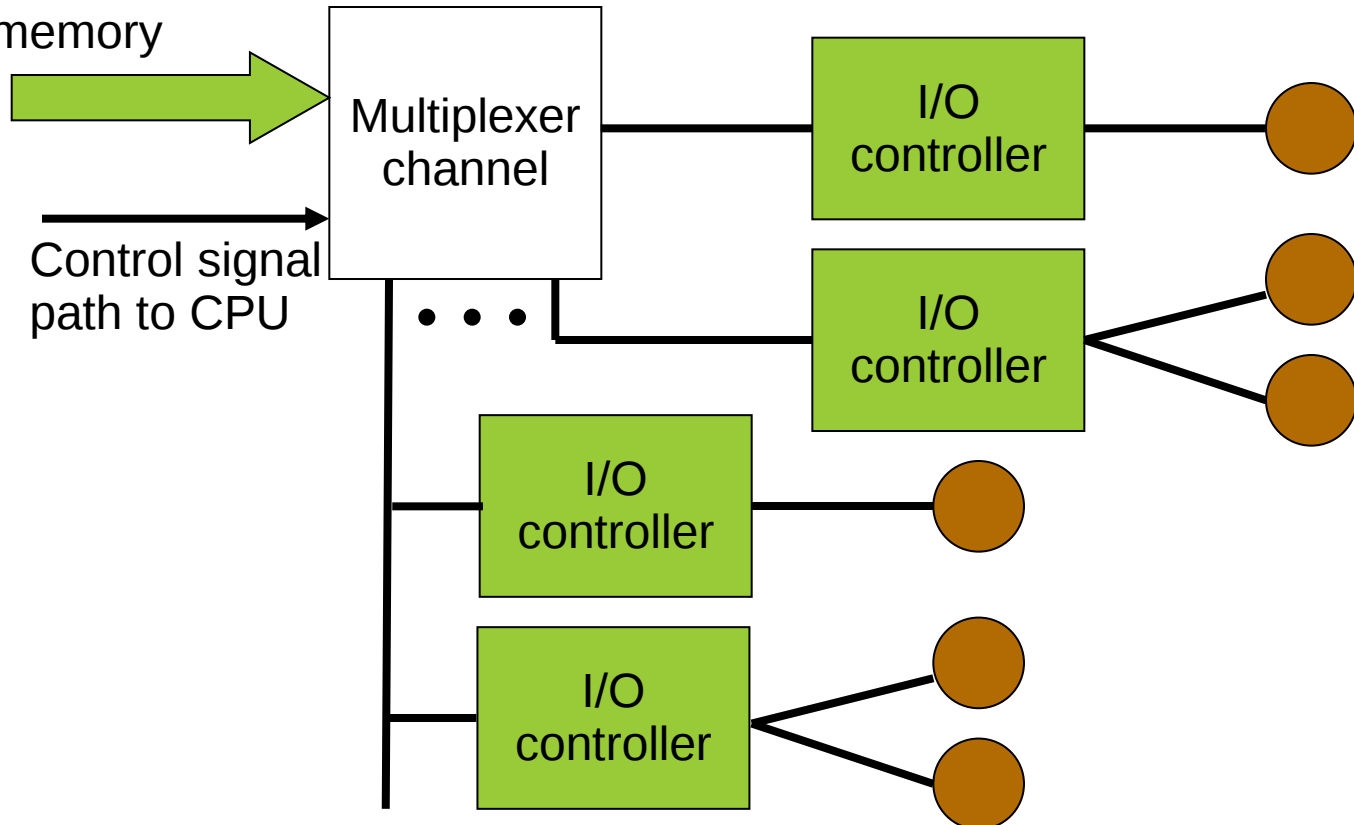
สามารถควบคุมอุปกรณ์หลายตัวได้ในเวลาเดียวกัน

สำหรับอุปกรณ์ที่มีความเร็วต่ำ อุปกรณ์เรียกว่า byte multiplexer จะรับหรือส่งข้อมูลหนึ่งตัวอักษรด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อทำงานกับอุปกรณ์หลายตัวที่เชื่อมต่ออยู่นั้น

สำหรับอุปกรณ์ความเร็วสูงจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า block multiplexer ทำการสลับตำแหน่งบล็อกข้อมูลจากอุปกรณ์หลายตัว

Multiplexer channel

Data and
address channel
to main memory



Input Device

Keyboard



Keyboard

การใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ผู้ใช้งานมักกระทำผ่านคีย์บอร์ดมากกว่าอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ แต่ผู้ใช้งานมักไม่คิดถึงองค์ประกอบนี้เท่าใดนัก จะคิดถึงแต่อุปกรณ์อื่นๆ เช่น โปรเซสเซอร์ แรม ฮาร์ดดิสก์

การออกแบบคีย์บอร์ดที่ไม่ดีอาจทำให้การทำงานไม่ดีเท่าที่ควร ในปี 1996 ไมโครซอฟต์ได้สร้างความเปลี่ยนแปลงให้กับคีย์บอร์ดอย่างมาก โดยแยกคีย์บอร์ดออกเป็นสองส่วนตามหลักสรีรวิทยา

ในปัจจุบันได้มีการออกแบบคีย์บอร์ดให้เป็นมากกว่าคีย์บอร์ด เช่น เพิ่มปุ่มพิเศษ ผนวกอุปกรณ์ที่เข้ากับคีย์บอร์ด

แม้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โครงสร้างของคีย์บอร์ดก็ไม่ได้เปลี่ยนจากที่ออกแบบโดย IBM เมื่อปี 1980 มากนัก

คีย์บอร์ดในยุคเริ่มต้น



Ergonomic Keyboard



การผนวกอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งเข้ากับคีย์บอร์ด



ปุ่มฟังก์ชันการทำงานพิเศษ



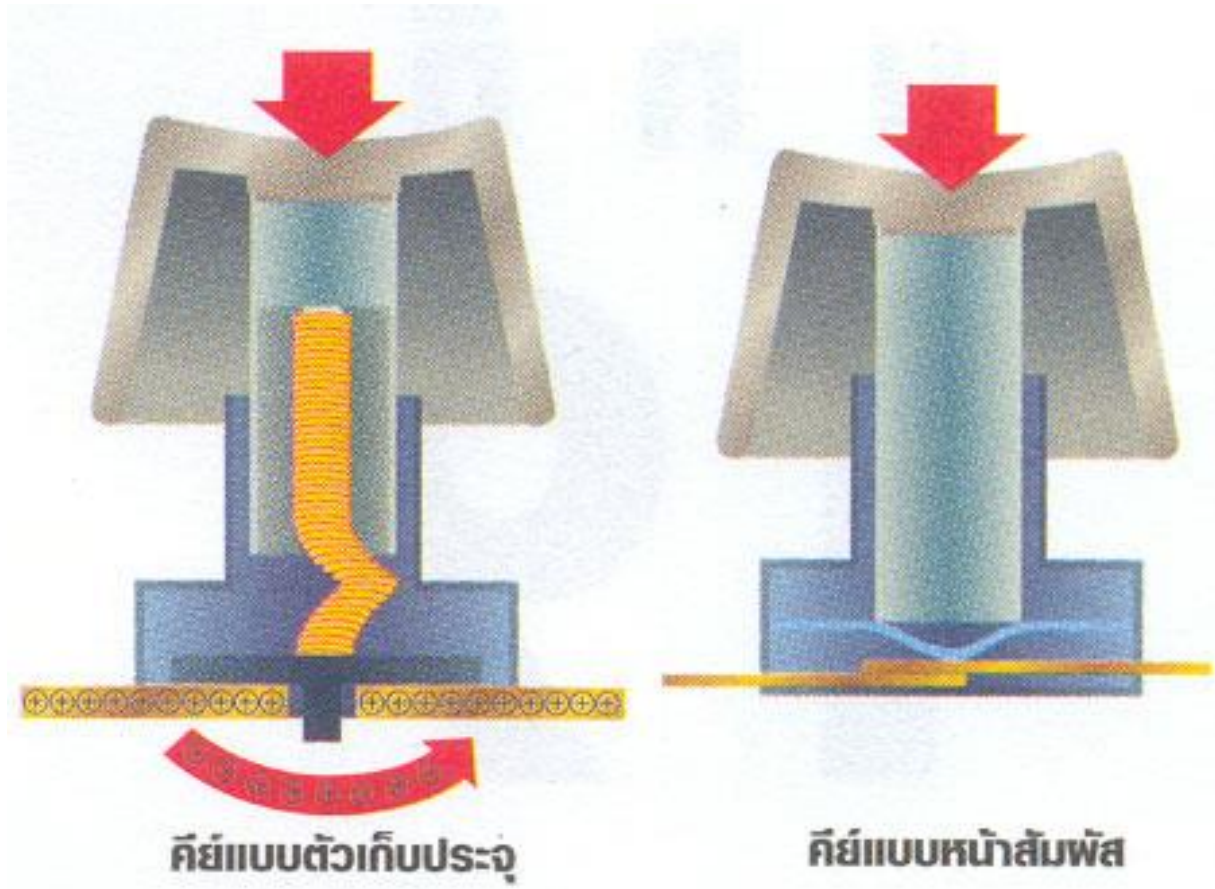
เปลี่ยนภาษา



ปุ่มสามารถเปลี่ยนได้ตามโปรแกรมที่ใช้



ชนิดของคีย์ในคีย์บอร์ด



Scan code

โปรเซสเซอร์จะสร้างตัวเลขชุดหนึ่งที่เรียกว่า สแกนโค้ด ซึ่งจะเป็นค่าใด
นั้นขึ้นอยู่กับวงจรที่เชื่อมต่อคีย์นั้นกับโปรเซสเซอร์

คีย์หนึ่งคีย์จะมีสแกนโค้ดสองชุด ชุดแรกสำหรับการกดคีย์ อีกชุด
หนึ่งสำหรับการปล่อยคีย์

คอมพิวเตอร์จะเก็บโค้ดที่ได้ไว้ในหน่วยความจำบัฟเฟอร์ของคีย์บอร์ด
ซึ่งจะถูกไหลต่อไปยังไบออสของคอมพิวเตอร์

โปรเซสเซอร์ของคีย์บอร์ดจะส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์เพื่อบอก
โปรเซสเซอร์ของคอมพิวเตอร์ว่ามีข้อมูลสแกนโค้ดรออยู่

การสแกนโค้ดที่ได้จากการกดคีย์นี้จะทำซ้ำบ่อยครั้งในหนึ่งวินาที

The Internal Reference Alphabet (IRA)

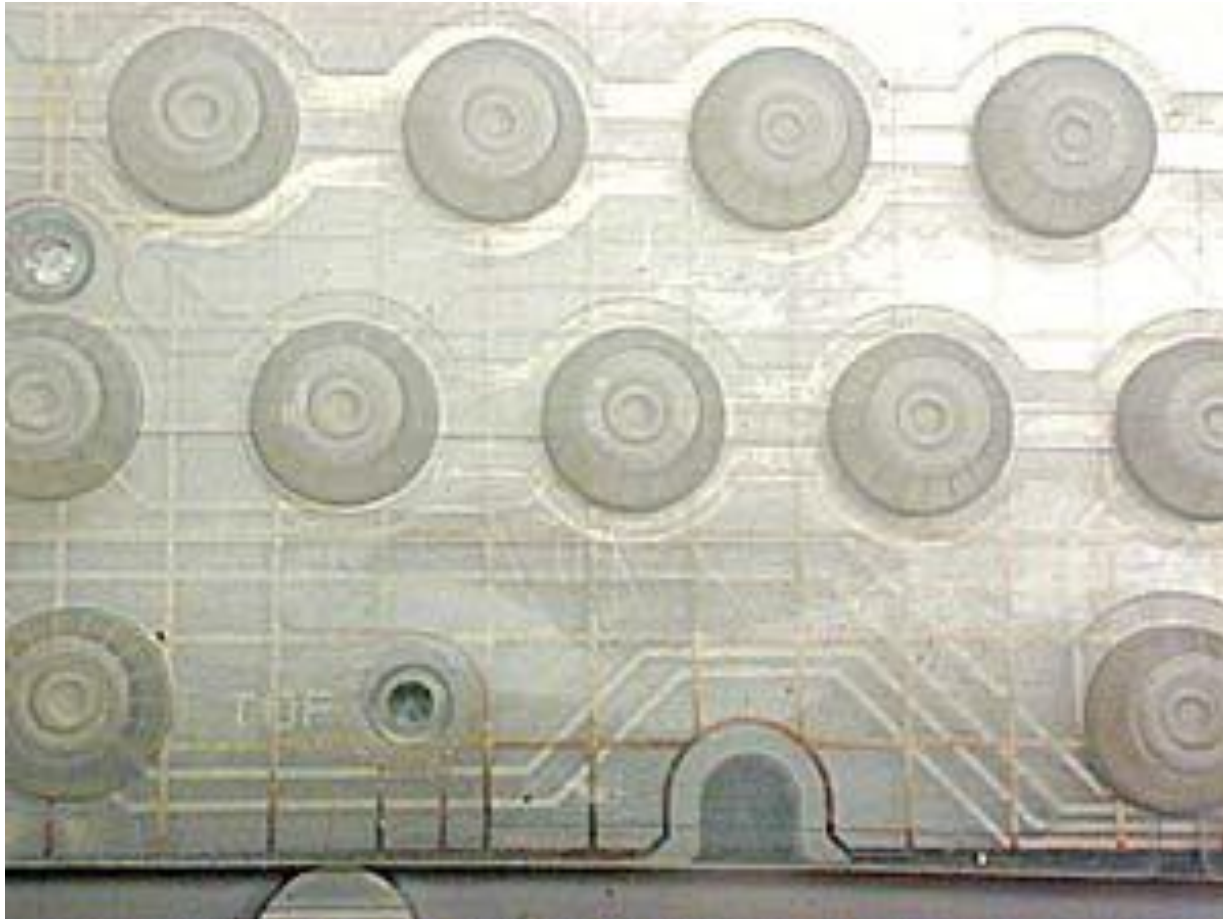
- ❑ ตัวอักษรแต่ละตัวจะมีรหัสเป็นของตนเองที่ไม่ซ้ำกับตัวอักษรอื่น
- ❑ ข้อมูลแต่ละตัวอักษรจะใช้แทนด้วยรหัสขนาด 7 บิต ทำให้มีตัวอักษรได้ทั้งหมด 128 แบบ
- ❑ รหัส IRA แบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่พิมพ์ได้และกลุ่มที่เป็นข้อมูลควบคุม

ตัวอย่างรหัสในตารางรหัส IRA

Table of scan codes and names of keys

position	code	name	position	code	name	position	code	name	position	code	name
0	\$07E0		32	\$0452		64	\$0000		96	\$041C	
1	\$060A	F1	33	\$06F6	N-	65	\$0438	A	97	\$07C2	PAUSE
2	\$060C	F2	34	\$0708	YSRQ	66	\$0464	B	98	\$05C0	GR2
3	\$0408	F3	35	\$06EE	NUML	67	\$0642	C	99	\$0000	
4	\$0618	F4	36	\$06FC	SCROL	68	\$0446	D	100	\$0622	RALT
5	\$0606	F5	37	\$04B0	CAPSL	69	\$0648	E	101	\$0628	RCTRL
6	\$0416	F6	38	\$04C2	&	70	\$0656	F	102	\$06E2	DEL
7	\$0506	F7	39	\$04A4	'	71	\$0468	G	103	\$06D2	END
8	\$0614	F8	40	\$03ED	PCLED	72	\$0666	H	104	\$04F4	PGD
9	\$0402	F9	41	\$07F4	PCLED	73	\$0486	I	105	\$06FA	PGU
10	\$0612	F10	42	\$04F8	*	74	\$0476	J	106	\$06D8	HOME

Keyboard matrix



Keyboard controller



อุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง (Pointing device)



Mouse



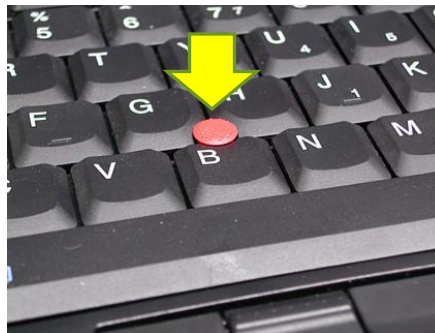
Trackball



Touchpad



Pen Mouse



Joy stick



Touch screen

Mouse / Mice



Mouse

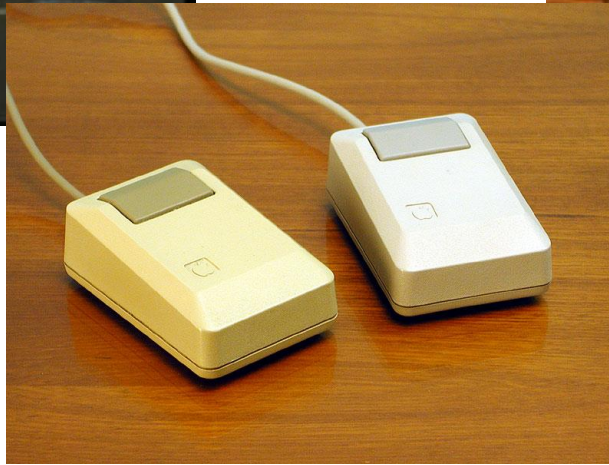
ได้มีแนวความคิดสร้างอุปกรณ์ชี้ เมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนที่อุปกรณ์บางอย่าง จะทำให้น้ำจอมีการเคลื่อนไหวด้วย

ด้วยลักษณะที่มีสายเคเบิลเชื่อมต่อไปที่คอมพิวเตอร์ จึงเรียกว่า Mouse

Apple ทำให้เมาส์กลายเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในเครื่อง Macintosh และ Windows ก็ได้ทำให้เมาส์กลายเป็นอุปกรณ์มาตรฐานบนเครื่องพีซีเช่นเดียวกัน

เมาส์และอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งไม่สามารถมาแทนที่คีย์บอร์ดได้ทั้งหมด แต่สามารถเสริมจุดที่ไม่สมบูรณ์ของคีย์บอร์ดได้ คือสามารถสั่งงานด้วยการเลื่อนเคอร์เซอร์ และคลิกที่ปุ่มคำสั่งที่ต้องการแทนที่จะต้องพิมพ์คำสั่งลงไป

เมาส์ในยุคเริ่มต้น



การควบคุมเมาส์

- Move
- Click
- Double Click
- Drag & Drop
- Right Click (เฉพาะ Windows)
- Scroll

ประเภทของเมาส์



Mechanic mouse



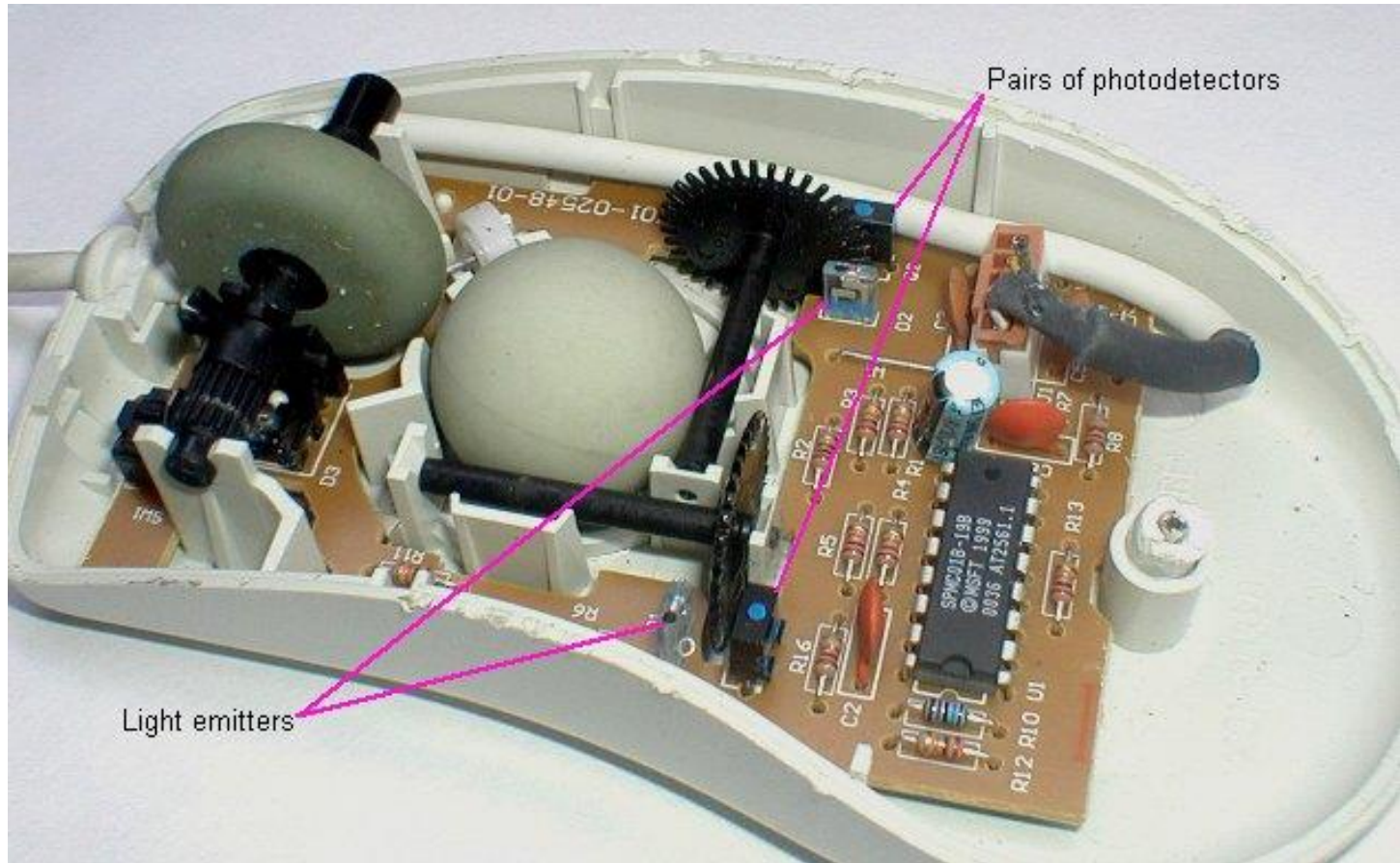
Optical mouse



Laser mouse

© 2005 CNET

Mechanic mouse



การทำงานของแมคคานิคเมาส์

เมื่อเลื่อนเมาส์แบบแมคคานิคบนพื้นผิวเรียบ บอลซึ่งทำจากยางก็จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้นด้วย และสัมผัสกับแกนสองแกนที่ตั้งฉากกันอยู่ แกนหนึ่งรับผิดชอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและหลัง ส่วนอีกแกนหนึ่งรับผิดชอบการเคลื่อนที่ไปด้านขวาและซ้าย

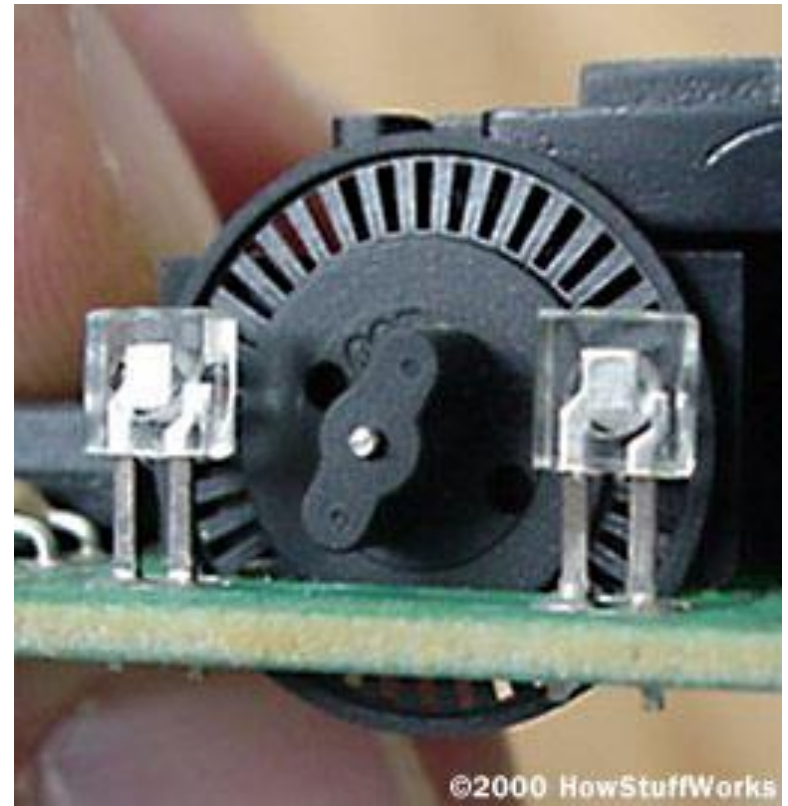
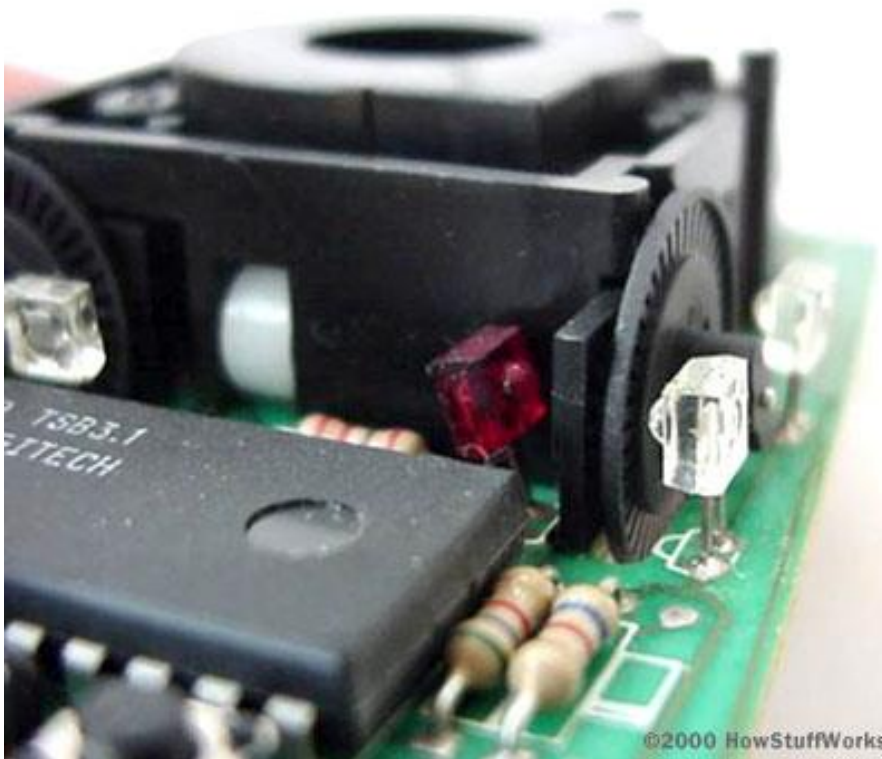
แกนแต่ละแกนจะต่อไปยังล้อ ซึ่งเรียกว่า Encoder เมื่อแกนหมุนก็จะทำให้ Encoder หมุนตามไปด้วย ที่ขอบของวงล้อ Encoder จะมีโลหะขนาดเล็กติดอยู่เป็นช่วงๆ จะมีก้านโลหะตัวนำสัมผัสอยู่ที่วงล้อ

เมื่อก้านโลหะกับโลหะของล้อสัมผัสกันจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ยิ่งมีจำนวนกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนครั้งมาก แสดงว่าเมาส์ถูกเลื่อนเป็นระยะทางมากเช่นกัน

การทำงานของแมคคานิคเมาส์



Encoder



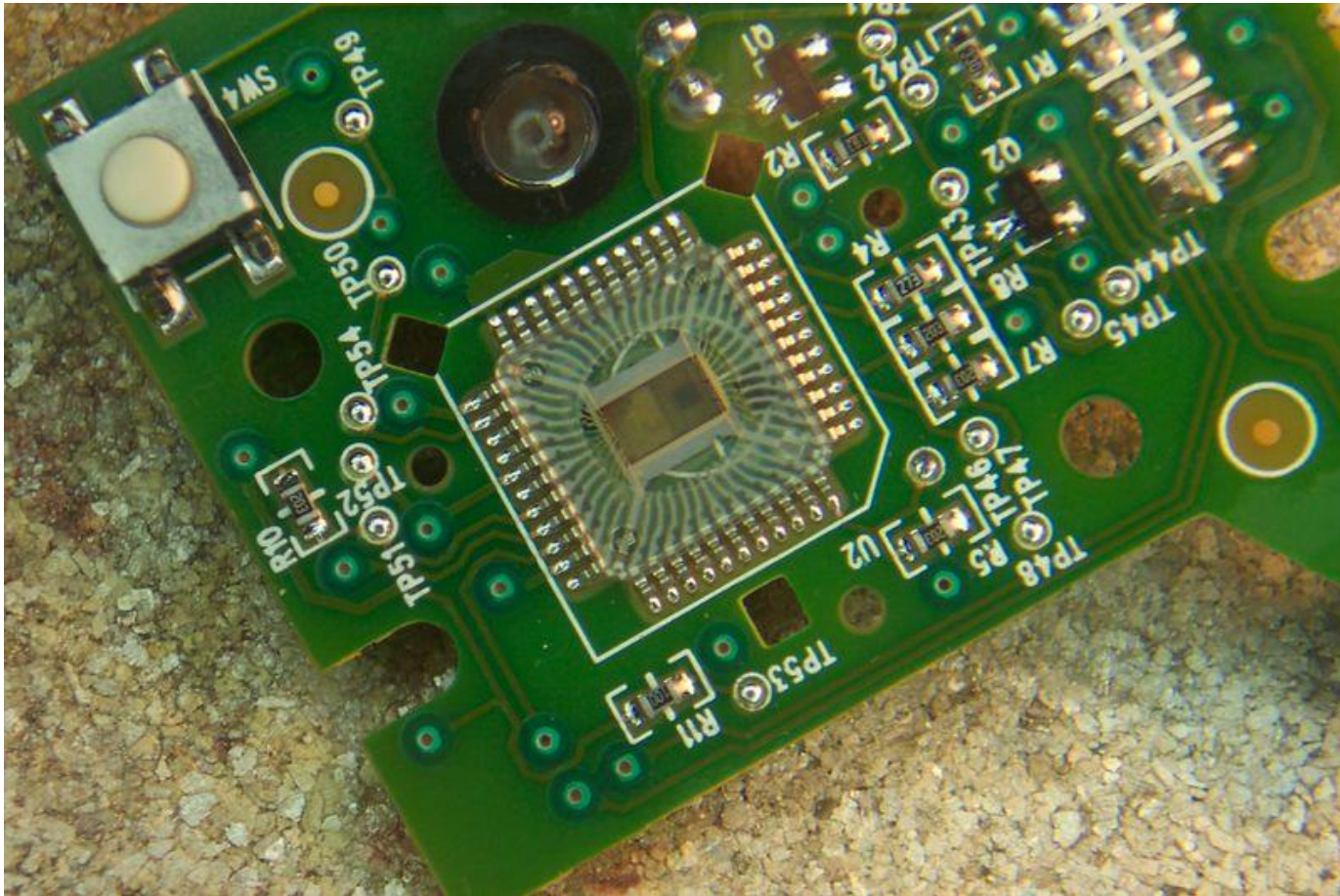
ออปติคอลเมาส์และเลเซอร์เมาส์



การทำงานของออปติคอลเมาส์และเลเซอร์เมาส์

- ☐ เป็นเมาส์ที่ไม่มีกลไกใดๆ ที่เคลื่อนไหว
- ☐ ออปติคอลเมาส์จะใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง ส่วนเลเซอร์เมาส์จะใช้แสงเลเซอร์
- ☐ เมาส์จะฉายแสงขนาดเล็กที่ติดอยู่ด้านล่างของเมาส์ไปที่พื้นผิว แสงที่สะท้อนจากพื้นผิวขึ้นมาจะรับด้วย CMOS เหมือนในกล้องดิจิทัล ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ของแสงได้
- ☐ สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะส่งต่อไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความเร็วและทิศทางของเคอร์เซอร์บนหน้าจอ

CMOS sensor



Blue Track Mouse



Blue Track Mouse

เป็นเมาส์ที่ใช้ได้ทุกสภาพพื้นผิว ไม่ว่าจะเป็นพรม ไม้ กระຈก โดยใช้แสงเลเซอร์สีฟ้าแทนสีแดง

แสงสีฟ้าจะทำให้ภาพสะท้อนของพื้นผิวมีความคมชัดสูงกว่าสีแดงที่ใช้กันในเมาส์ทั่วๆ ไป โดยเฉพาะพื้นผิวที่อยู่ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ เลเซอร์สีฟ้าจะสะท้อนภาพได้ชัดกว่าแสงสีแดง

Blue Specular Optics เป็นเลนส์สีฟ้า ซึ่งจะรับภาพที่แสดงผลของพื้นผิวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ แม้กระทั่งพื้นผิวมันเงา เช่น หินอ่อนหรือกระຈก

ลำแสงเลเซอร์กว้างกว่าเมาส์ปกติถึง 4 เท่า ทำให้เกิดแสงสะท้อนเพื่อส่งข้อมูลกลับมาได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้งานบนพื้นผิวที่ไม่ปกติได้

การส่งลำแสงเลเซอร์ของ Blue Track Mouse เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นมันจึงไม่ร้อนโหวต่อพื้นผิวที่มีฝุ่น และสามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานของ Blue Track Mouse

CMOS Navigation ASIC:

Proprietary, Microsoft-developed silicon chip employs advanced algorithms and pixel architecture for robust tracking.

Blue LED:

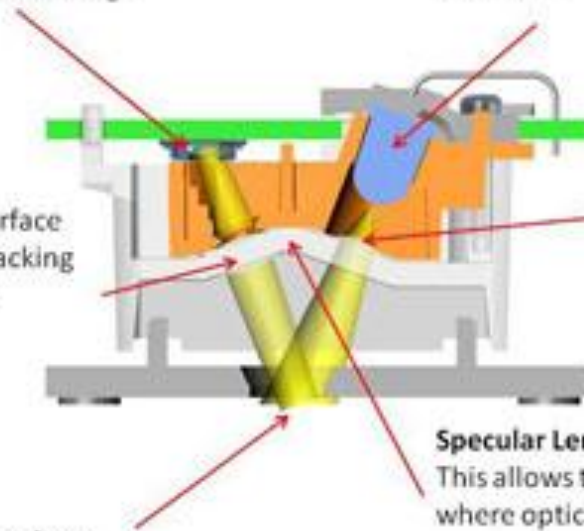
Blue light provides high-contrast images with less noise for improved tracking.

Imaging Optic:

This provides more surface detail for improved tracking over defocused laser technologies.

Illumination Optic:

Diffuse beam with no "hot spots" gives improved tracking performance.



Specular Lens Architecture:

This allows tracking on shiny surfaces where optical products fail.

Blue Beam Envelope:

A larger beam size relative to laser mice improves tracking on difficult surfaces including carpet.

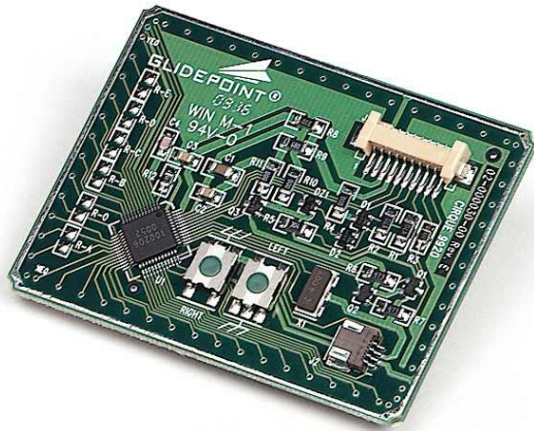
Multi-touch Mouse



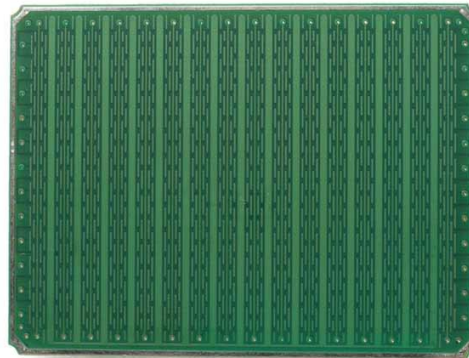
Touchpad



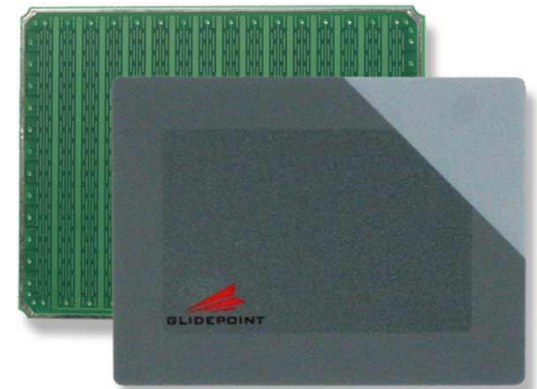
Touchpad Sensor



Component side



Sensor side

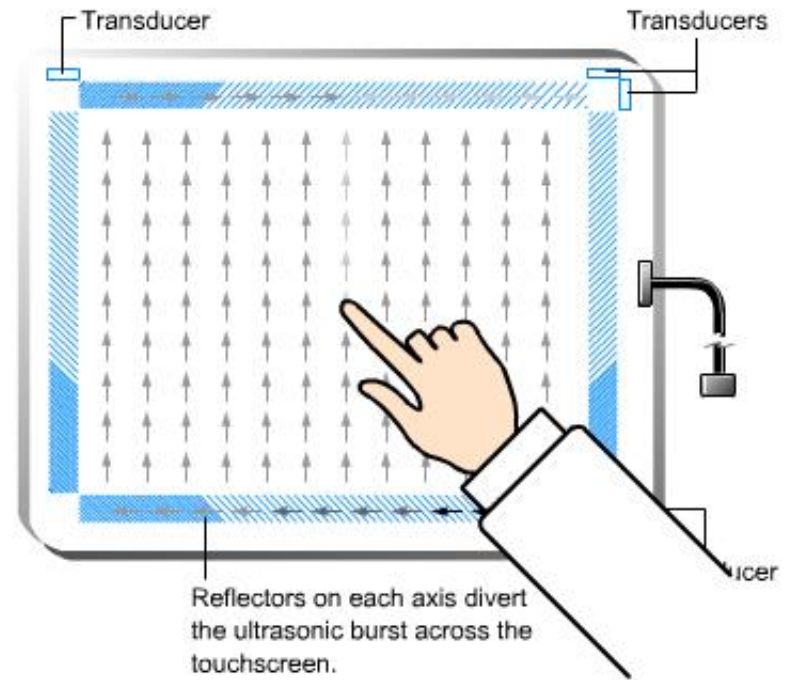
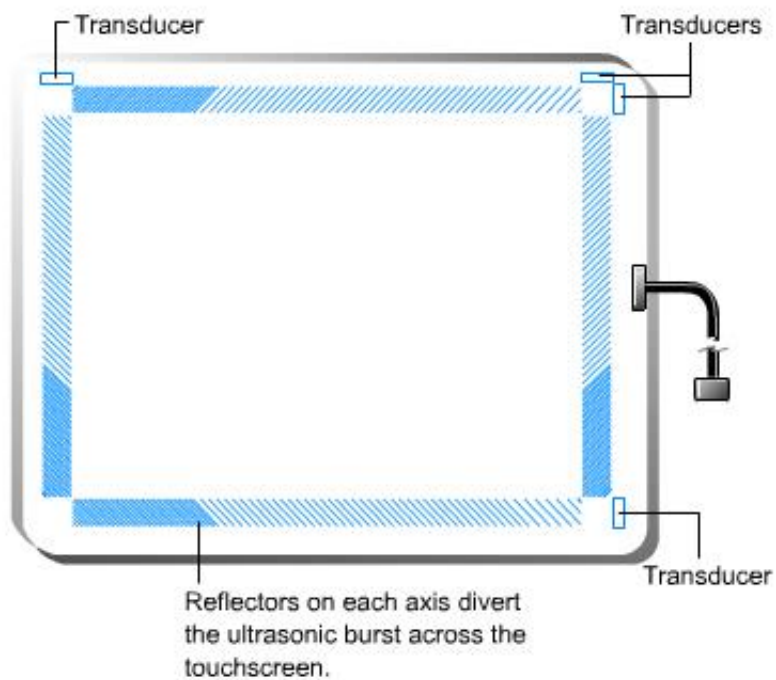


Overlay

Touch Screen



การทำงานของ Touch Screen



Multi-Touch Screen

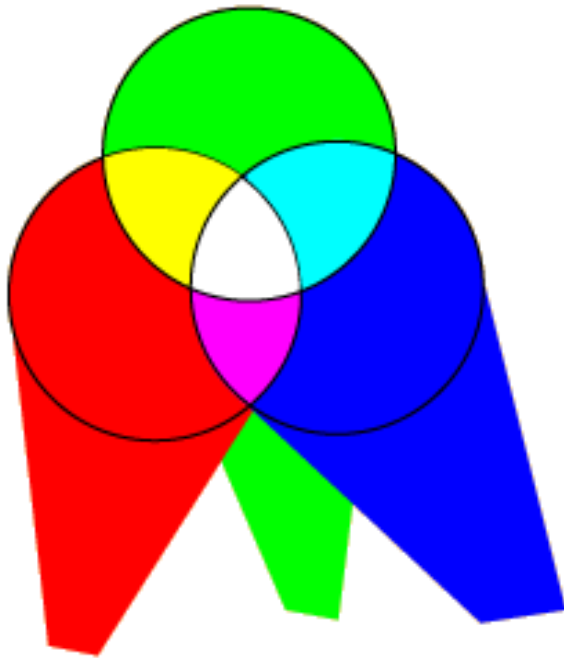


Output Device

Monitor



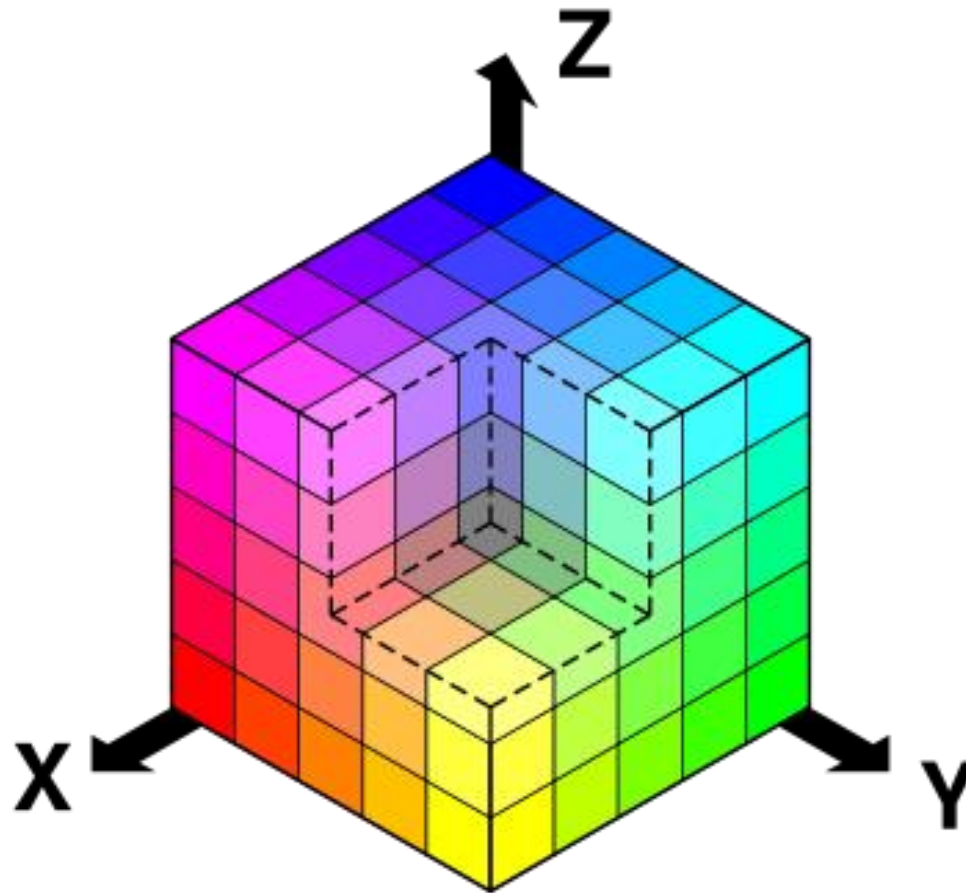
การผสมสีแบบบวก (RGB)



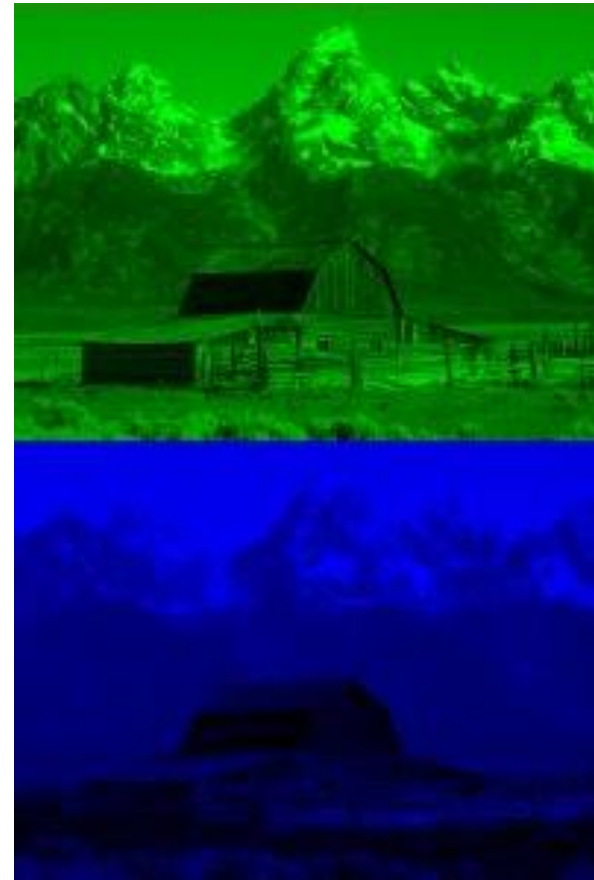
Additive color mixing with red, green and blue additive primary colors.



แผนที่



RGB Channel



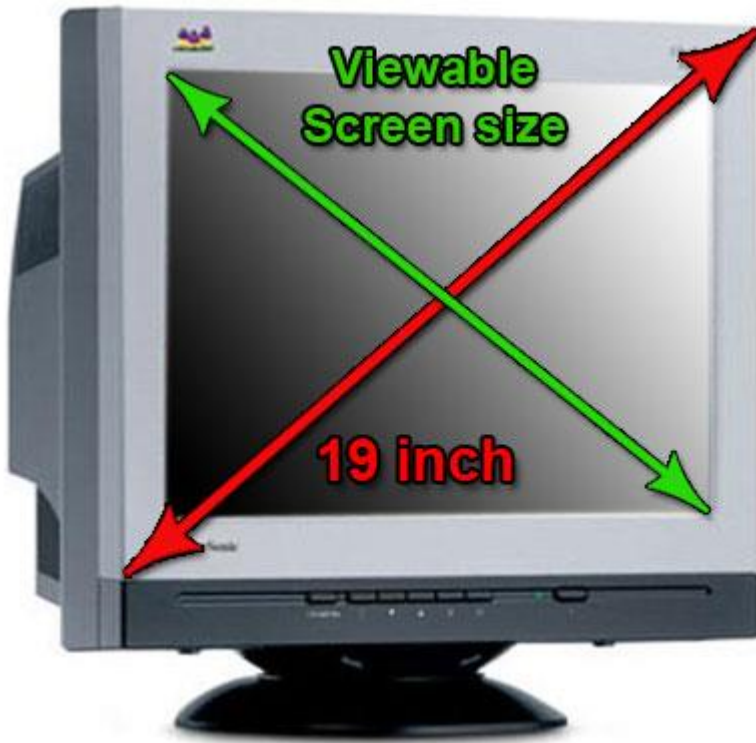
มาตรฐานของความละเอียดในการแสดงผล

Standard	Resolution
XGA (Extended Graphics Array)	1024x768
SXGA (Super XGA)	1280x1024
UXGA (Ultra XGA)	1600x1200
QXGA (Quad XGA)	2048x1536
WXGA (Wide XGA)	1280x800
WSXGA+ (Wide SXGA plus)	1680x1050
WUXGA (Wide Ultra XGA)	1920x1200

Aspect ratio

- ☐ สัดส่วนของการแสดงผลโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 4:3 (กว้าง 4 ส่วน สูง 3 ส่วน)
- ☐ สำหรับการแสดงผลแบบจอกว้าง (Wide screen) จะอยู่ที่ 16:9 (บางครั้งก็เป็น 16:10 หรือ 15:9)
- ☐ การแสดงผลแบบจอกว้างมีประโยชน์สำหรับดูภาพยนตร์จาก DVD แบบจอกว้าง เล่นเกม และแสดงผลแบบหลายหน้าต่างในหน้าจอเดียวกัน

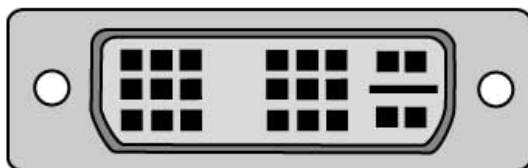
พื้นที่ในการแสดงผล



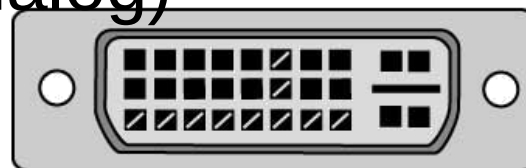
รูปแบบการเชื่อมต่อ



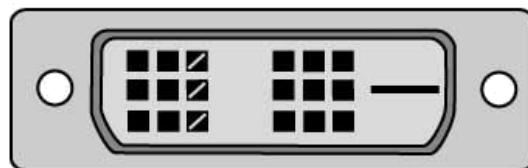
VGA (Analog)



Single Link DVI-I



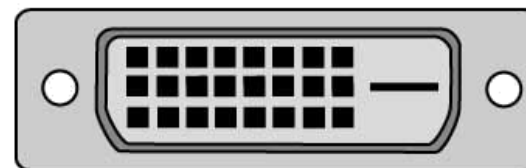
Dual Link DVI-I



Single Link DVI-D

1920x1080

© 2005 HowStuffWorks



Dual Link DVI-D

2048x1536

© 2005 HowStuffWorks

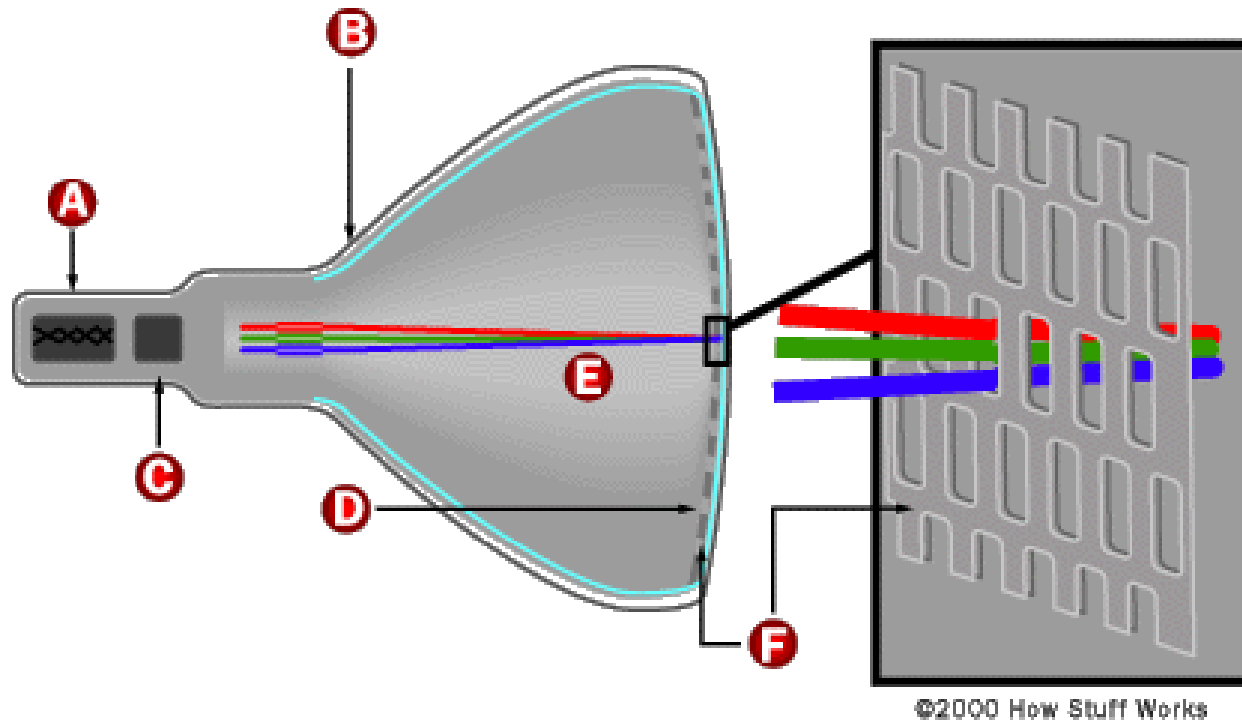
Color Depth

Bit-Depth	Number of Colors
1	2 (Monochrome)
2	4 (CGA)
4	16 (EGA)
8	256 (VGA)
16	65,536 (High Color, XGA)
24	16,777,216 (True Color, SVGA)
32	16,777,216 (True Color + Alpha Channel)

CRT (Cathode Ray Tube) Monitor

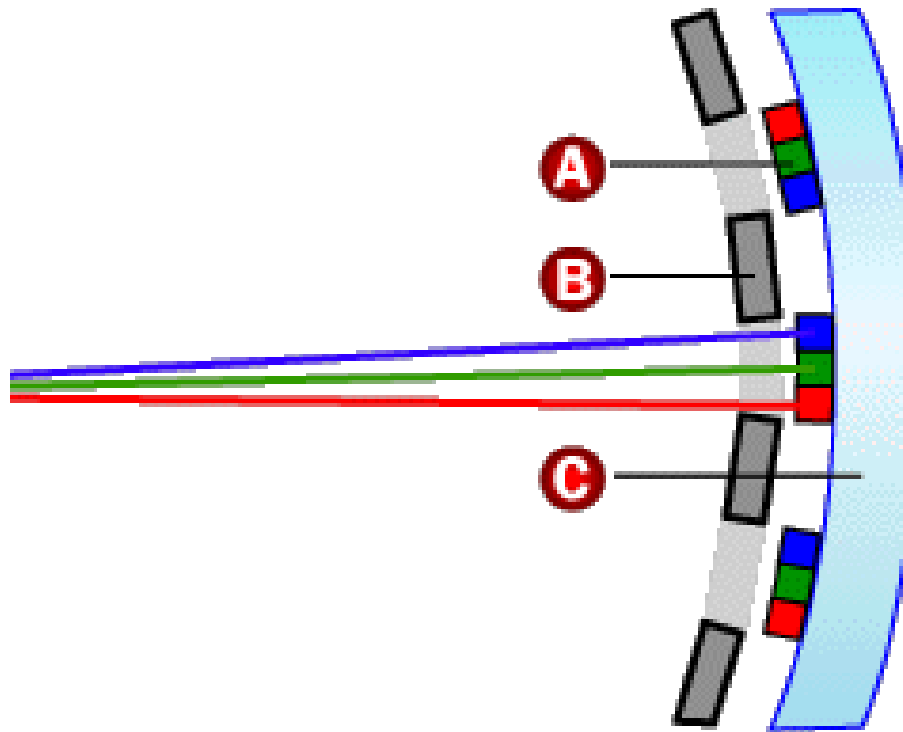


ส่วนประกอบของ CRT Monitor



A = Cathode, B = Conductive coating, C = Anode, D = Phosphor-coated screen
E = Electron beams, F = Shadow mask

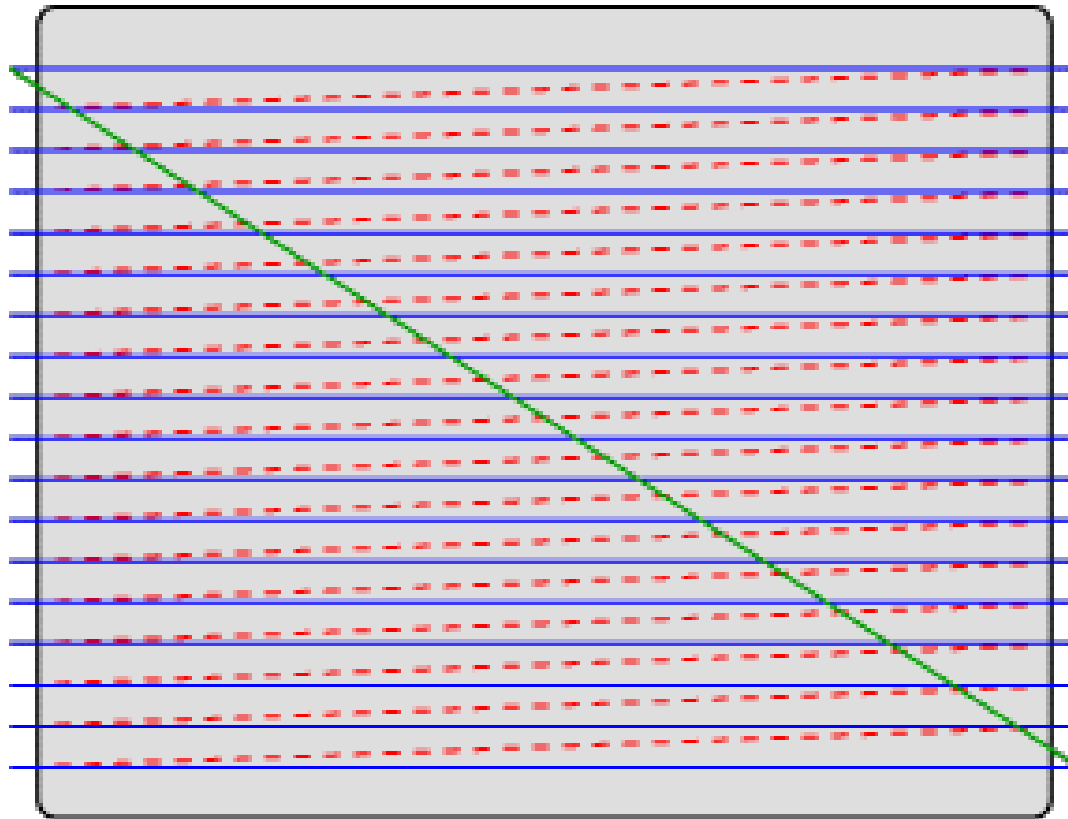
การทำงานของ Shadow mask



©2000 How Stuff Works

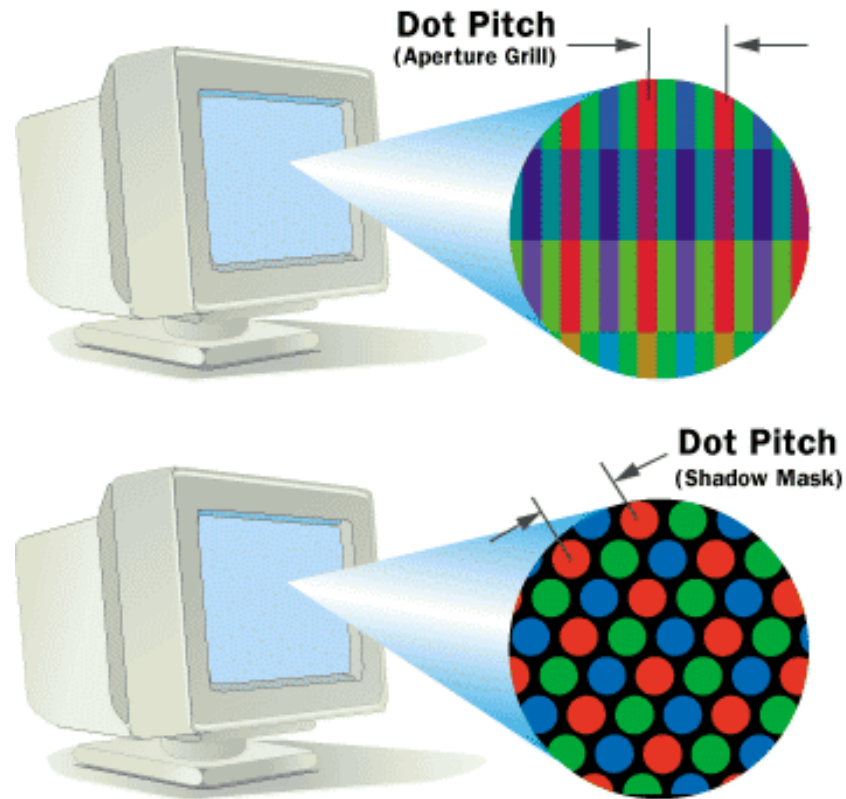
A = Phosphors, B = Shadow mask, C = Glass

Raster scan



©2000 How Stuff Works

Dot Pitch



ข้อได้เปรียบของจอ CRT เมื่อเทียบกับจอ LCD

- มีราคาถูกกว่า
- แสดงผลสีได้ดีกว่า
- มีอัตราการตอบสนองที่เร็วกว่า
- กำหนดความละเอียดของหน้าจอได้หลากหลาย
- แข็งแรงทนทานกว่า

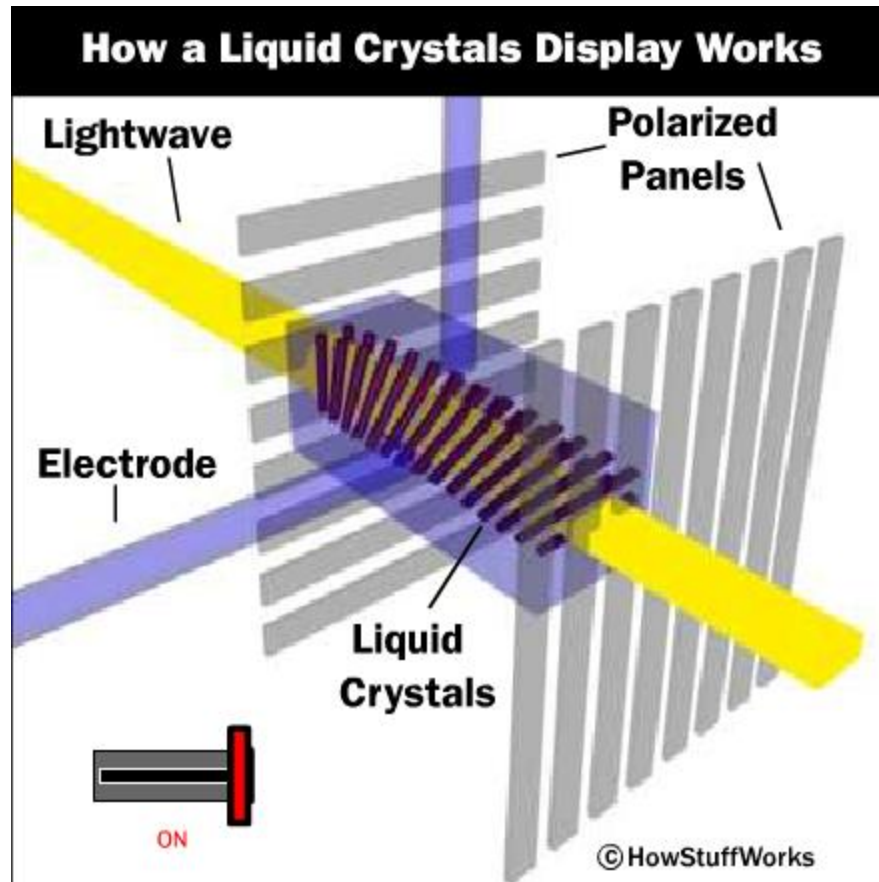
LCD (Liquid Crystal Display) Monitor



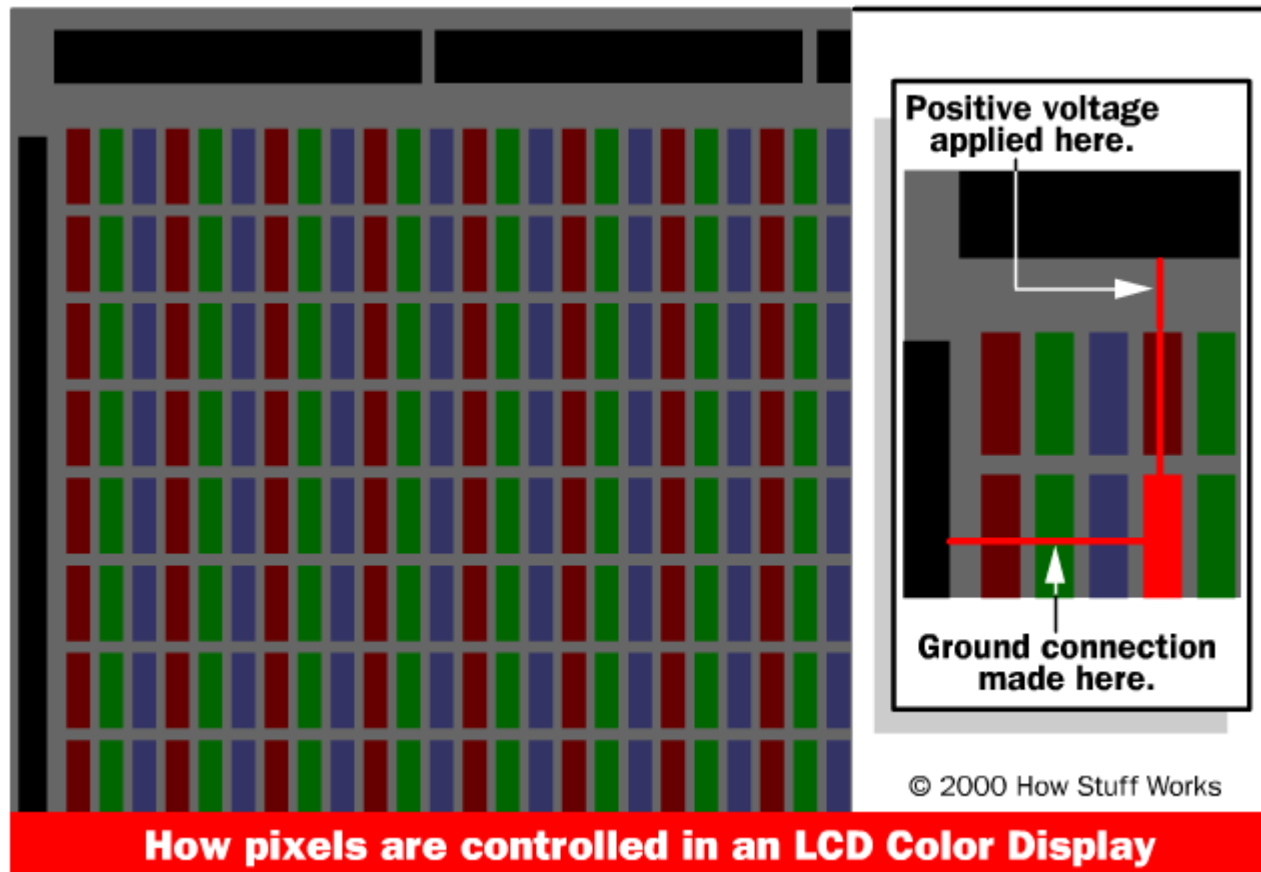
Liquid Crystal



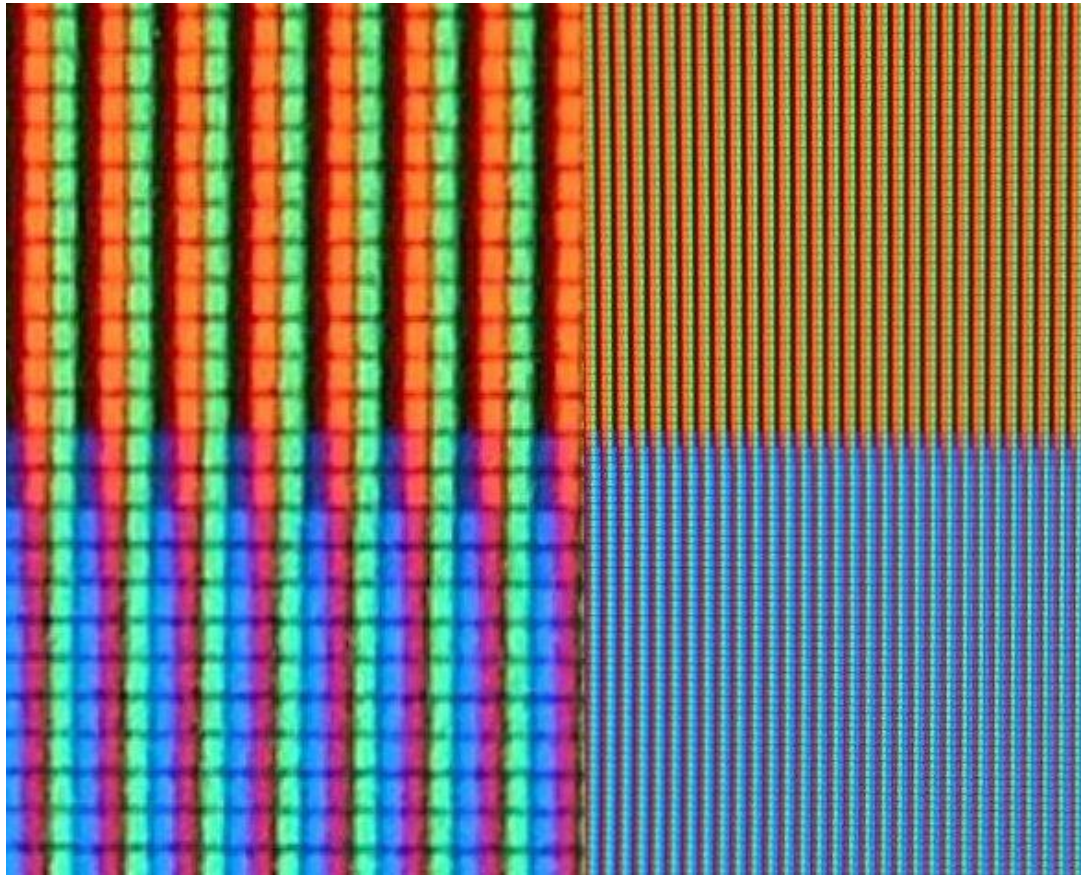
การทำงานของจอ LCD



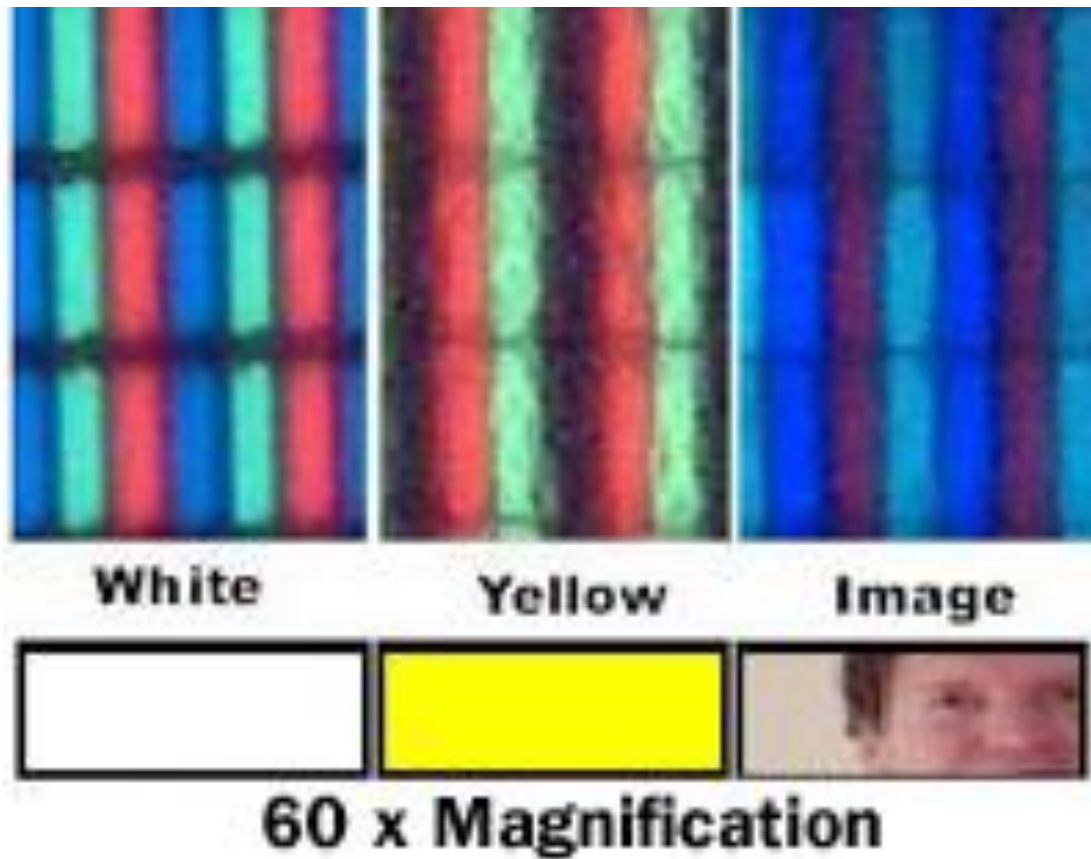
การแสดงผลของพิกเซลในจอ LCD



ภาพขยายของพิกเซล



การแสดงผลสีสั้นต่างๆ



ประเภทของจอ LCD

- ☐ Passive matrix ใช้อิเล็กทรอนิกส์ที่จัดเรียงตัวอยู่ที่ขอบขอบเลเยอร์ Liquid Crystal และทุกๆ ช่วงเวลาจะมีการชาร์จประจุให้กับแต่ละเซลล์ ทำให้อาจเห็นการเฟด (Fade) ของภาพบนหน้าจอได้
- ☐ Active matrix จะใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมการชาร์จประจุแต่ละเซลล์ของ Liquid Crystal ทำให้ความแม่นยำสูงขึ้น ภาพที่ได้จะคมชัดมากขึ้นด้วย

Native Resolution

17 inch = 1024x768

19 inch = 1280x1024

20 inch = 1600x1200

คุณสมบัติของจอ LCD

Viewing angle

Brightness or Luminance

Contrast Ratio

Response Rate

Adjustability

ข้อได้เปรียบของจอ LCD ที่เหนือกว่าจอ CRT

ใช้พลังงานน้อยกว่า

มีขนาดเล็กกว่า และน้ำหนักเบา

สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย

มีผลกระทบต่อสายตาน้อยกว่า

Printer



ประเภทของเครื่องพิมพ์

Impact printer

- Dot-matrix printer

Non-impact printer

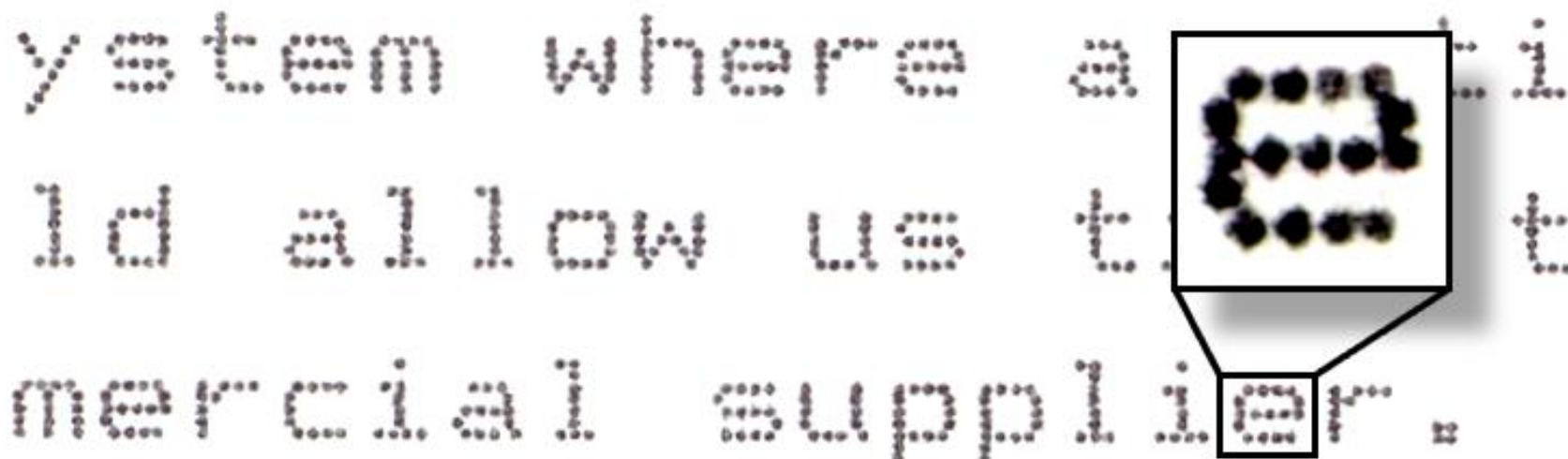
- Inkjet printer
- Laser printer
- Thermal printer

Plotter

Dot-matrix printer



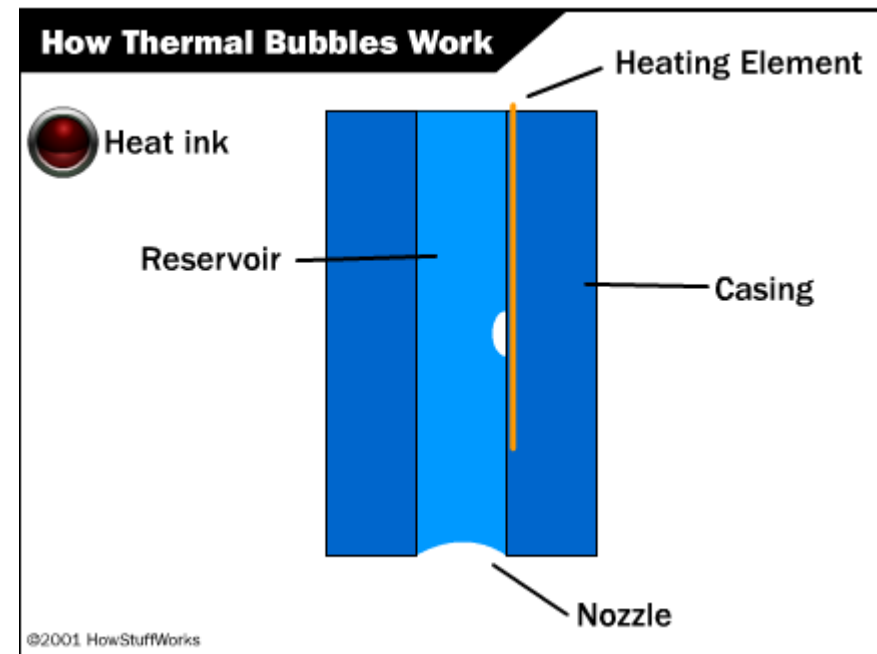
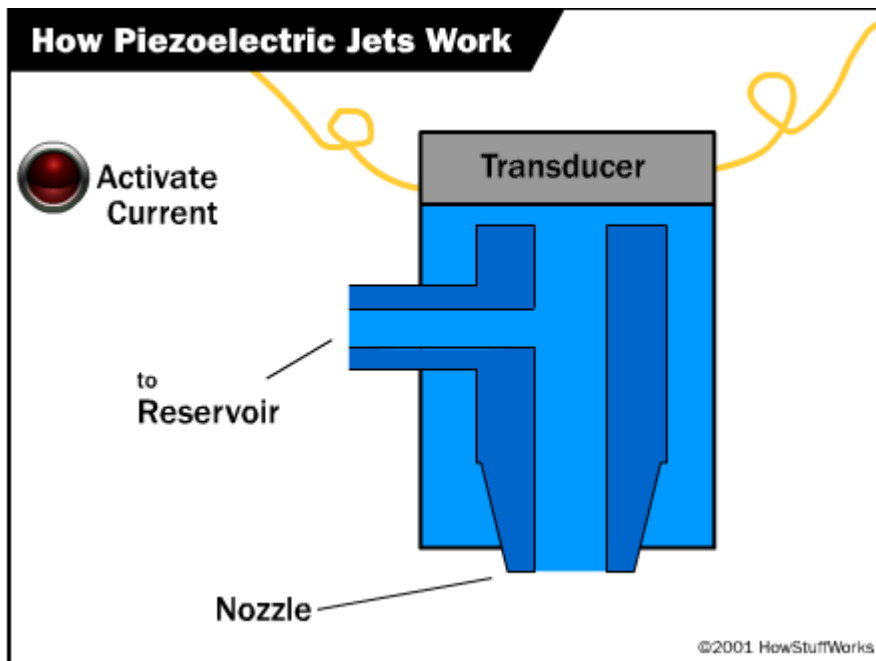
การทำงานของ Dot-matrix printer



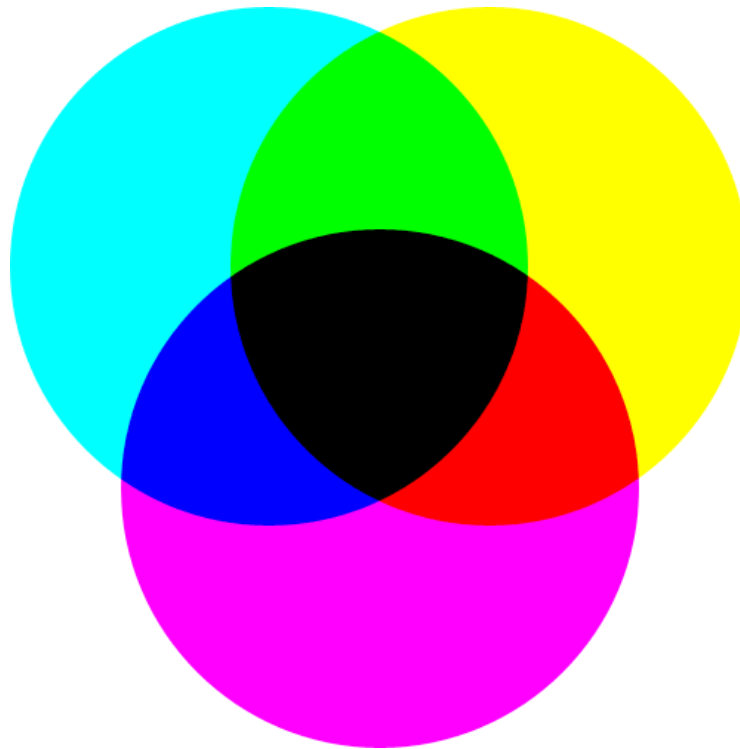
Inkjet Printer



การทำงานของ Inkjet printer



การผสมสีของเครื่องพิมพ์ (CMYK)



หมึกของเครื่องพิมพ์ Inkjet

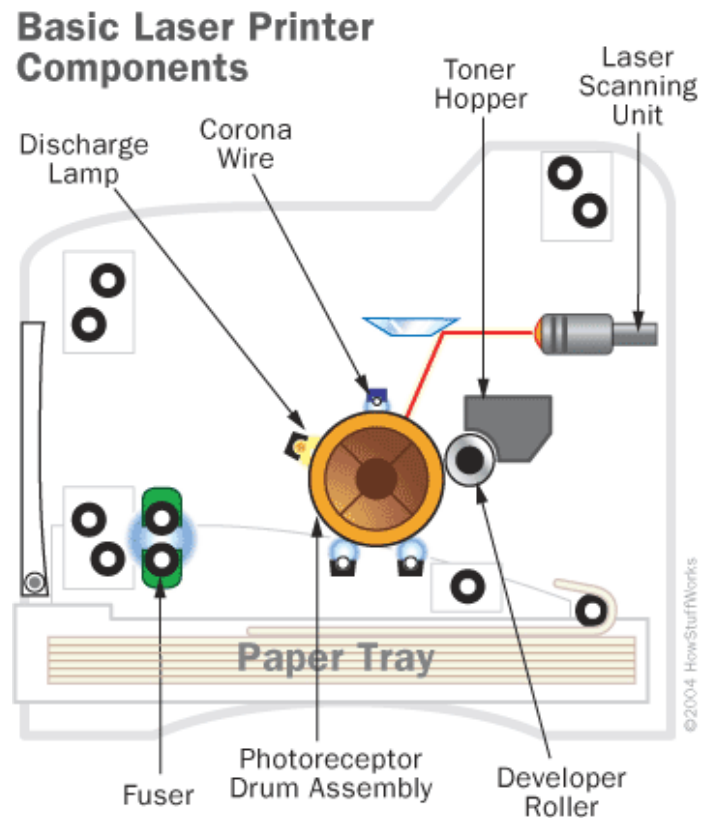


Laser printer

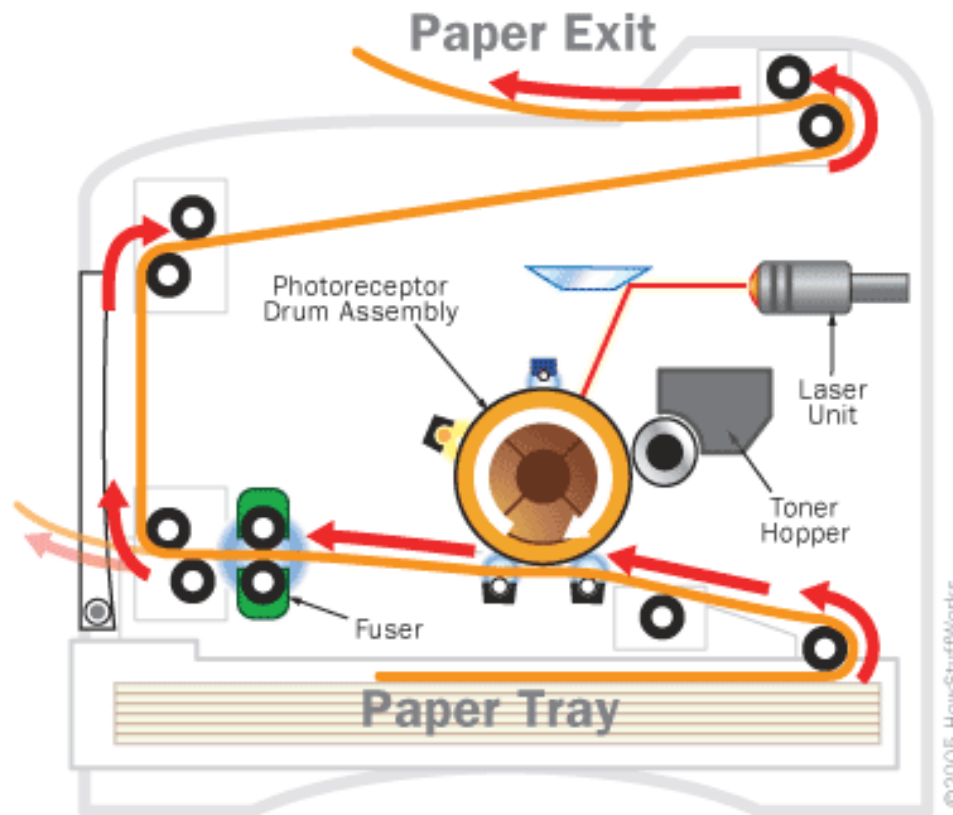


© 2001 Hewlett-Packard Company

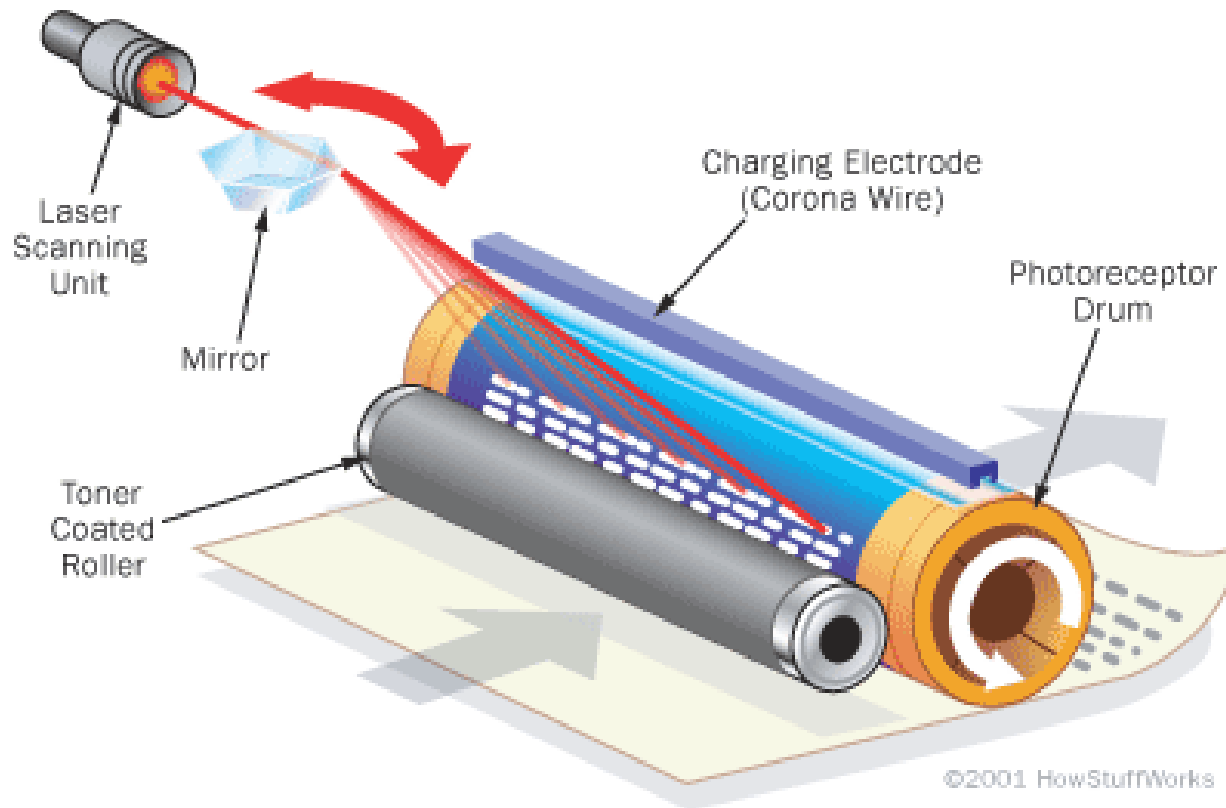
ส่วนประกอบของ Laser printer



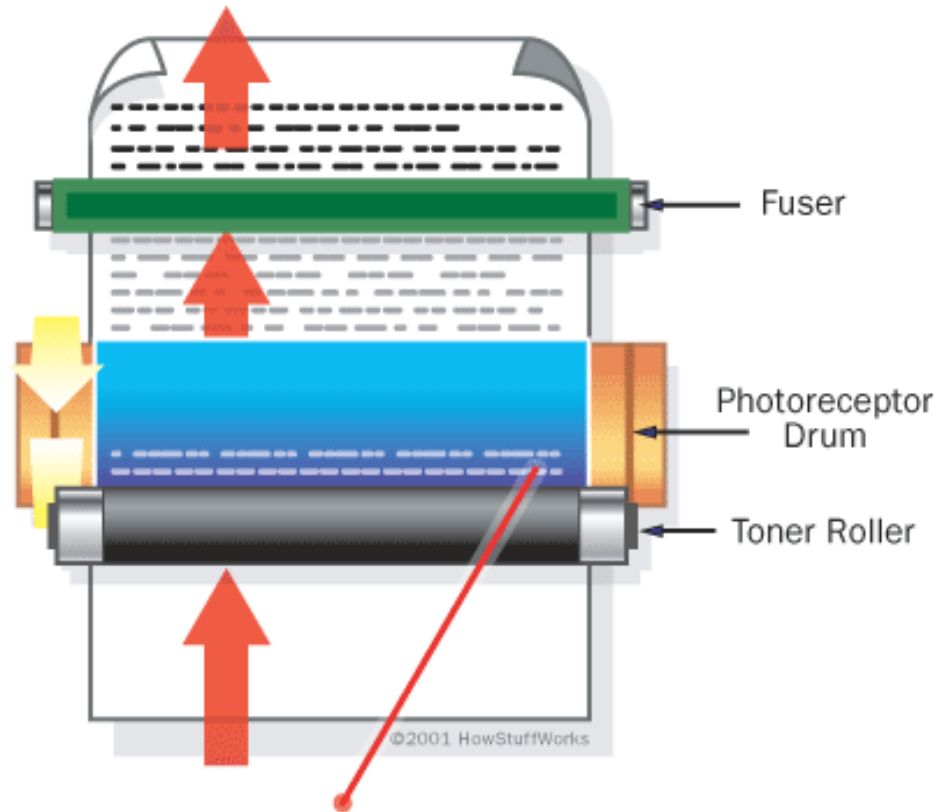
การทำงานของ Laser printer



การยิงแสง Laser



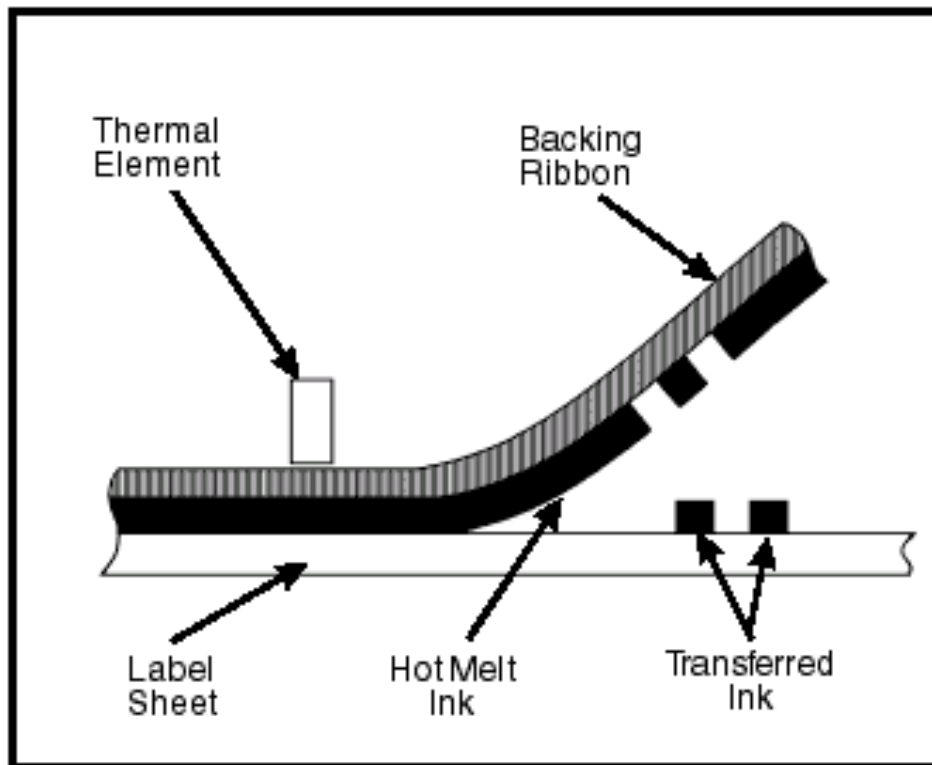
Fuser



Thermal printer

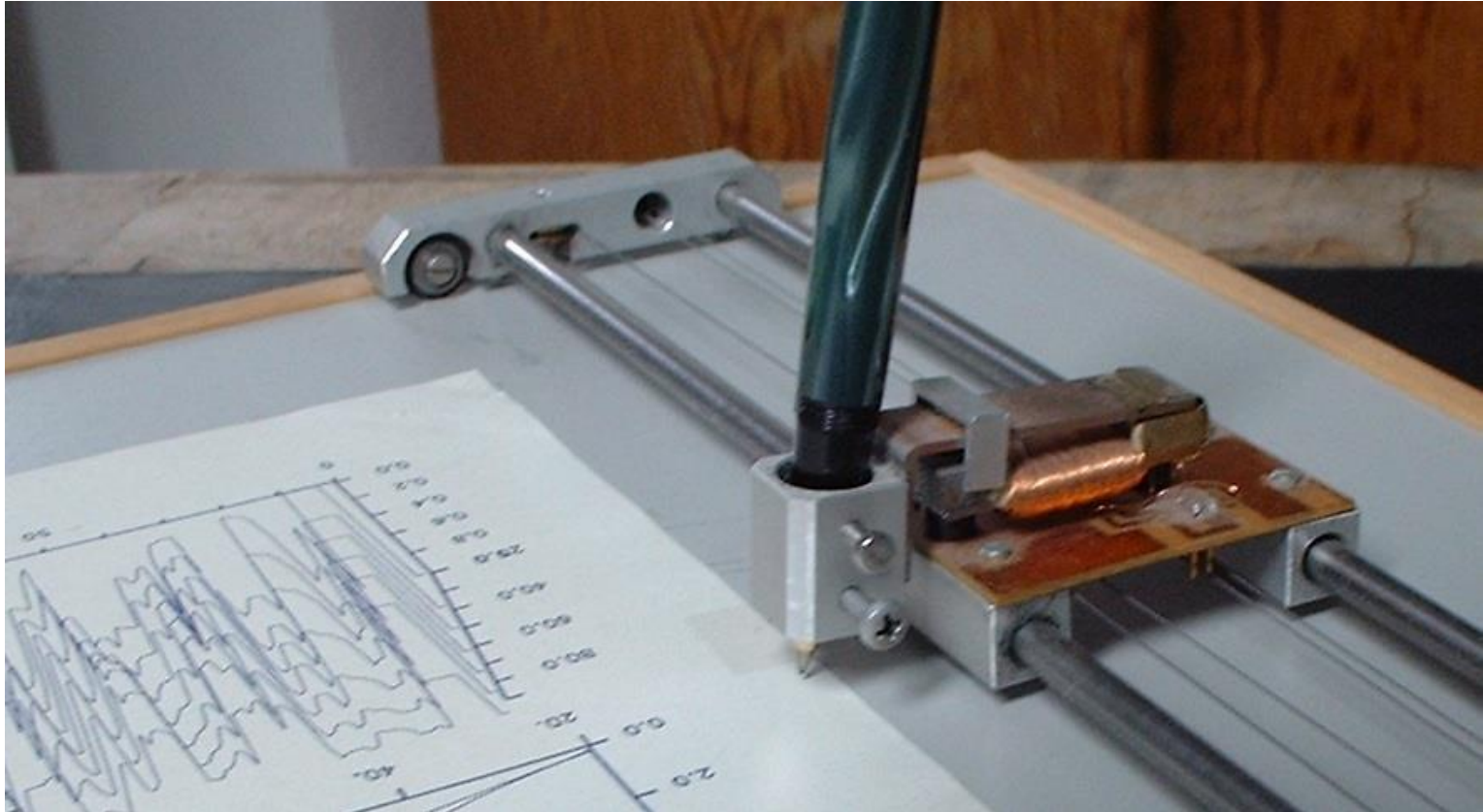


การทำงานของ Thermal printer



Thermal Transfer Printing

Plotter



Inkjet Plotter

