บทที่ 2

สถาปัตยกรรมของระบบเครื่องคอมพิวเตอร์หลายซีพียู

จุดประสงค์ของบทนี้คือการให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจสถาปัตยกรรมของระบบเครื่องคอมพิวเตอร์แบบหลายซีพียูระบบหนึ่ง โดยใช้ระบบเครื่องเทนเด็มเป็นตัวแบบในการศึกษาทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวัดสมรรถนะและวิเคราะห์ต่อไป

สิ่งที่จะได้รับจากบทนี้คือ

1. แนวความคิด (Concept) และเป้าหมาย (Goal) ของการออกแบบฮาร์ดแวร์ในที่นี้คือ เทนเด็ม และระบบปฏิบัติการ ที่ชื่อการ์เดียน(Guardian)

2. การทำงานในลักษณะแบบขนาน (Parallelism)และความสำคัญของสมรรถนะของฮาร์ดแวร์

3. โครงสร้างระบบปฏิบัติการ หน้าที่การทำงานของกระบวนการต่างๆ ทั้งกระบวนการระบบและอื่นๆโดยใช้บุริมภาพ (priority)เป็นตัวกำหนด

4. ความเข้าใจในตัวแบบของระบบข้อความ (Message system) และระบบคำขอ/บริการ (Requester/Server)

5. แนวความคิดของหน่วยความจำเสมือน (Virtual memory) และผลกระทบต่อสมรรถนะ

6. แนวความคิดของกระบวนการ นิยาม องค์ประกอบและลักษณะการทำงาน

2.1 แนวความคิดและเป้าหมายของการออกแบบระบบเครื่องคอมพิวเตอร์[1]

แนวความคิดของการออกแบบเทนเด็มและการ์เดียนซึ่งเป็นชื่อของฮาร์ดแวร์และระบบปฏิบัติการคือ การทำงานที่ต่อเนื่องตลอดเวลา เป็นระบบที่ทนต่อความผิดพร่อง (Fault Tolerant System) สำหรับการประมวลผลด้วยรายการเปลี่ยนแปลงแบบเชื่อมตรง

---

[1]Tandem Computer, System Description Manual (1986)

เป้าหมายการออกแบบคือ

1. ระบบควรจะปฏิบัติการได้อย่างต่อเนื่องแม้จะมีความผิดพร่องเกิดขึ้น

2. ระบบควรจะยอมให้มอดูลต่างๆ สามารถทำการซ่อมแซมได้ขณะทำงานเชื่อมตรงอยู่และสามารถเพิ่มมอดูลต่างๆเข้ามาโดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบที่กำลังทำงานอยู่

3. การพัฒนาของระบบสามารถปฏิบัติการต่อไปได้

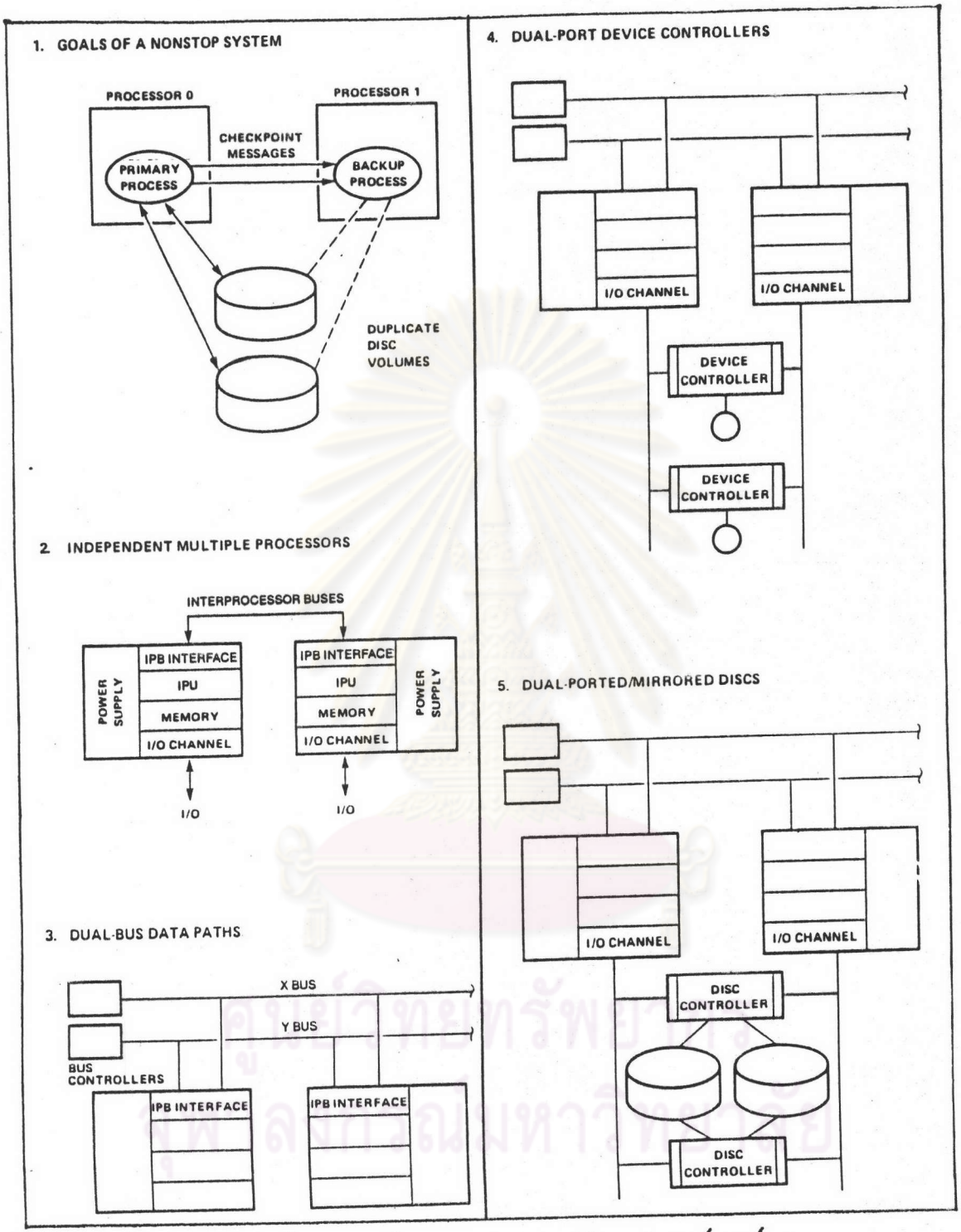
4. ระบบควรจะปฏิบัติงานในลักษณะงานคู่ขนาน

2.2 โครงสร้างระบบฮาร์ดแวร์

จากแนวความคิด และเป้าหมายที่กล่าวแล้วข้างต้นก่อให้เกิดโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ดังรูป 2.1 ระบบการทนต่อความผิดพร่องของกระบวนการระบบและกระบวนการผู้ใช้จะเกิดโดยการทำงานของกระบวนการสำรอง (backup process) หรือกระบวนการที่สอง ซึ่งอยู่ในอีกตัวประมวลผลหนึ่งหรืออีกซีพียูหนึ่ง ทั้งนี้โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบข้อความ(checkpoint messages) เป็นช่วงๆตลอดเวลาเพื่อให้สามารถทราบสถานะการทำงานของกระบวนการหลัก (primary process) เมื่อไรก็ตามที่เกิดความผิดพร่องของซีพียูใดที่กระบวนการหลักกำลังทำงานอยู่ กระบวนการสำรองจะเข้าทำงานแทนที่ทันที ๓ จุดสุดท้ายของการตรวจสอบข้อความระหว่างซีพียู กระบวนการสำรองซึ่งแทนที่กระบวนการหลักจะทำการค้นหาฐานข้อมูลบนจานแม่เหล็กได้ต่อไป

ระบบการทนต่อความผิดพร่องสำหรับการค้นหาข้อมูลโดยกระบวนการหลัก ซึ่งผ่านตัวควบคุม ซึ่งมีทางเข้าออกคู่ (dual-ported) และ/หรือ การมีข้อมูลซ้ำกันบนจานแม่เหล็กที่แยกกันในทางกายภาพ แต่ระบบปฏิบัติการถือเป็นตัวเดียวกัน นั่นคือจานแม่เหล็กที่เรียก มิรเรอร์ดิสก์ ในระบบมิรเรอร์ดิสก์ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติไปยังจานแม่เหล็กทั้งคู่ แต่ขณะใดก็ตามถ้าต้องการอ่านแฟ้มข้อมูลจากจานแม่เหล็กก็สามารถอ่านจากจานแม่เหล็กตัวใดตัวหนึ่ง เนื่องจากข้อมูลเหมือนกันหมดในจานแม่เหล็กทั้งคู่นั้น นอกจากนี้ยังมีการสื่อสารระหว่างตัวประมวลผล (interprocessor communication) 2 เส้นทางที่โยงไปยังจานแม่เหล็ก รูปแบบของฮาร์ดแวร์หลายแบบเพื่อสนองเป้าหมายการออกแบบดังแสดงในรูป 2.1 กลไกการสลับมอดูลต่างๆและเส้นทางสื่อสารภายในฮาร์ดแวร์ การควบคุมดังกล่าวเป็นหน้าที่ของระบบปฏิบัติการที่ซับซ้อนเดียน คุณลักษณะทางฮาร์ดแวร์จะกล่าวโดยละเอียดดังนี้

2.2.1 ตัวประมวลผลหลายตัวที่เป็นอิสระ (Independent Multi-processor)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของโครงสร้างระบบฮาร์ดแวร์

เทนเด็มประกอบด้วยตัวประมวลผลมอดูล 2 ถึง 16 มอดูล ตัวประมวลผลมอดูล ในระบบของเทนเด็มจะไม่มีตัวใดตัวหนึ่งเป็นศูนย์กลาง แต่ละซีพียูประกอบด้วย ไอพียู(IPU หรือ

instruction processing unit) หน่วยความจำ และช่องรับเข้าส่งออก นอกจากนี้จะยังมีส่วนเชื่อมโยงตัวประสานบัสระหว่างตัวประมวลผล (interprocessor bus interface) และมีแหล่งจ่ายไฟเป็นของตัวเองแต่ละมอดูล (รูปย่อย 2 ในรูป 2.1)ดังนั้นแต่ละตัวประมวลผลจะสามารถทำงานเป็นอิสระต่อกันและพร้อมๆ กันในระบบเครื่องเดียวกัน การผิดพร่องของไอพียูไม่ทำให้ตัวประมวลผลหยุดทำงานได้เนื่องจากหน่วยความจำไม่ได้ใช้ร่วมกันระหว่างซีพียู แต่ตรงข้ามหน่วยความจำจะอยู่ในแต่ละมอดูล

2.2.2 เส้นทางข้อมูลบัสคู่ (dual-bus data paths)

แต่ละซีพียูติดต่อกับซีพียูอื่นผ่านทางบัสที่มีความเร็วสูงซึ่งควบคุมแต่ละซีพียูโดยตัวควบคุมบัส (bus controller) (ภาพย่อย 3 ในรูป 2.1) โปรแกรมทำงานในซีพียูหนึ่งซึ่งติดต่อกับโปรแกรมในอีกซีพียูโดยผ่านบัสนี้ แต่ละบัสระหว่างตัวประมวลผล (interprocessor bus)จะดำเนินการเป็นอิสระจากบัสอื่นและดำเนินการพร้อมกับซีพียูอื่นได้เช่นกัน

การใช้สองบัสเป็นการประกันว่าเส้นทางสื่อสารมีให้ใช้แน่นอนในระบบ ซึ่งถ้าบัสหนึ่งล้มเหลว เส้นทางสื่อสารระหว่างซีพียูจะวิ่งไปยังบัสที่เหลือโดยอัตโนมัติ การทำงานของตัวควบคุมบัสจะทำงานเป็นอิสระและมีวงจรที่แยกกัน ซึ่งเป็นการประกันว่า หากซีพียูล้มเหลวจะไม่ทำให้การส่งข้อมูลข้ามซีพียูถูกตัดขาด การทำงานของตัวประสานบัสระหว่างตัวประมวลผลในแต่ละซีพียูสามารถรับการส่งข้อมูลจากซีพียูอื่นผ่านบัสซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบปฏิบัติการ

2.2.3 ตัวควบคุมอุปกรณ์ทางรับเข้าส่งออกคู่ (Dual-Port Device Controller)

ข้อมูลจะถูกถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์นำเข้า-ส่งออก เช่น จานแม่เหล็ก จอภาพ หรือเครื่องพิมพ์ กับซีพียู ซึ่งหมายถึงช่องรับเข้า-ส่งออกแต่ละซีพียูจะมีช่องรับเข้า-ส่งออกซึ่งสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ได้ถึง 256 อุปกรณ์ (ภาพย่อย 4 รูปที่2.1) อุปกรณ์รับเข้า-ส่งออกจะประสานไปสู่ช่องรับเข้า-ส่งออกโดยตัวควบคุมทางรับเข้าส่งออกคู่ ซึ่งแต่ละตัวควบคุมจะติดต่อกับช่องรับเข้า-ส่งออกของซีพียู 2 ตัว ดังนั้นแต่ละอุปกรณ์รับเข้าส่งออกจะถูกควบคุมโดยซีพียูตัวใดตัวหนึ่ง อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติงาน อุปกรณ์รับเข้าส่งออกจะถูกควบคุมโดยหนึ่งซีพียูจนกว่าความผิดพลาดเกิดขึ้นกับซีพียู ซึ่งทำให้ไม่สามารถติดต่อกับอุปกรณ์รับเข้า-ส่งออกต่อไป ซึ่งถ้าภาวะนี้เกิดขึ้น ซีพียูอื่นจะเข้าควบคุมอุปกรณ์แทน

2.2.4 ทางรับเข้าส่งออกคู่และมิรเรอร์ดิสก์ (Dual-Port and Mirror disk)

เพราะจานแม่เหล็กนับเป็นอุปกรณ์รับเข้า-ส่งออกที่สำคัญ ตัวขับจานแม่เหล็กจึงสามารถมีทางเข้าและออกเป็นคู่ เพื่อเพิ่มระบบทนต่อความผิดพร่องให้มีมากขึ้นสามารถสร้างโครงแบบให้

มีทางรับเข้าส่งออกคู่บนตัวควบคุมจานแม่เหล็ก ตัวอย่างเช่น การเชื่อมต่อทางรับเข้าส่งออกคู่ของตัวควบคุมไปยังช่องรับเข้า-ส่งออกที่แยกกัน การเชื่อมต่อทางรับเข้าส่งออกคู่ของตัวขับจาน-แม่เหล็กไปยังตัวควบคุม (ภาพย่อย 5 รูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงโครงแบบที่เป็นมิรเรอร์ และทางรับเข้าส่งออกคู่ที่สมบูรณ์)

2.2.5 หลายแหล่งจ่ายไฟ (Multiple Power Supply)

กระแสไฟจะถูกกระจายในระบบในลักษณะของแต่ละตัวควบคุมที่มีทางรับเข้าส่งออกคู่ซึ่งรับแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง ถ้าแหล่งจ่ายไฟล้มเหลวจะทำให้ซีพียูไม่สามารถทำงานได้ ทางเลือกของอีกแหล่งจะสามารถรับภาระนั้นได้เต็มที่

ในตัวประมวลผลชนิดนอนสต็อป ทู (Nonstop II) ตัวประมวลผลจะใช้ไฟเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังไฟจากแหล่งจ่ายไฟ ส่วนที่เหลือมีไว้เพื่อช่วยเติมให้กับตัวควบคุมอุปกรณ์ ในบางกรณีกำลังไฟที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟนี้อาจเพียงพอสำหรับทุกตัวควบคุมอุปกรณ์ ในบางกรณีกำลังที่จ่ายเพิ่มสำหรับเฉพาะไอโอเป็นสิ่งจำเป็น

ในตัวประมวลผลชนิดทีเอ็กซ์พี (TXP) ตัวประมวลผลจะใช้ไฟส่วนใหญ่ของแหล่งจ่ายไฟ กำลังไฟที่ซีพียูไม่ได้มีไว้สำหรับตัวควบคุมอุปกรณ์

2.2.6 คุณลักษณะอื่นๆ (Other Features)

ความสามารถของระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทนต่อความผิดพร่องดังกล่าวแล้วยังมีคุณลักษณะอื่นๆอีกมากที่ระบบได้ออกแบบไว้ดังนี้

1. ในกรณีไฟฟ้าดับ แต่ละซีพียูภายใต้การควบคุมของระบบปฏิบัติการจะเก็บสถานะการทำงานของตัวเองไว้ในหน่วยความจำ เมื่อไฟฟ้ากลับมาฮาร์ดแวร์จะเรียกขบวนการของระบบปฏิบัติการกลับคืนมาโดยอัตโนมัติ

2. ถ้าความผิดพลาดซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้เกิดขึ้นในหน่วยความจำ ระบบปฏิบัติการจะพิจารณาว่าส่วนที่เกี่ยวข้องใดทำให้ระบบวิกฤต แล้วพื้นที่นั้นจะถูกหมายเหตุว่าใช้ไม่ได้จนกว่าหน่วยความจำจะได้รับการซ่อมแซมเสียก่อน ซึ่งถ้าพื้นที่นั้นมีปัญหามากระบบปฏิบัติการจะชงักการทำงานซีพียูนั้น

3. ส่วนที่สำคัญของระบบปฏิบัติการจะยังค้าง (resident) อยู่ในหน่วยความจำหลักเพื่อเป็นการประกันว่าถ้าเกิดหน่วยความจำเสมือน (virtual memory) ซึ่งเป็นจานแม่เหล็กล้มเหลว ระบบก็ยังทำงานได้

4. มอดูลในระบบ เช่นตัวประมวลผล ตัวควบคุมรับเข้า-ส่งออก แหล่งกำเนิดไฟสามารถเคลื่อนย้ายจากระบบ และแทนที่ตัวใหม่โดยไม่ต้องหยุดการทำงานของมอดูลอื่นของระบบ

5. บิตภาวะคู่หรือคี่ (parity bit)จะเข้าร่วมไปใน 16 บิตคำในการส่งไปยังช่องรับเข้า-ส่งออก

6. จะมีการสร้างเส้นทาง ลำดับที่ ผลรวมตรวจสอบ (checksum) ในการส่งข้อมูลภายในซีพียูและตรวจสอบโดยซีพียูที่เป็นผู้รับข้อความสำหรับทุกๆกลุ่ม (packet) ของข้อมูลขนาด 13 คำซึ่งถ่ายโอนผ่านบัส

7. แบบวิธีทางฮาร์ดแวร์ของการปฏิบัติการมี 2 แบบ คือ เอกสิทธิ์ (privileged) และไม่มีเอกสิทธิ์ (nonprivileged) การปฏิบัติการที่สำคัญๆ เช่นการค้นหาตารางระบบ (system table) จากโปรแกรมประยุกต์หรือการเริ่มต้นการถ่ายโอนรับเข้า-ส่งออกข้อมูล จะปฏิบัติการได้เฉพาะขณะอยู่ในแบบวิธีเอกสิทธิ์

โดยปกติเฉพาะระบบปฏิบัติการการ์เดียนจะต้องปฏิบัติในแบบวิธีเอกสิทธิ์เท่านั้น แบบวิธีเอกสิทธิ์จะทำงานจากการทำงานโปรแกรมประยุกต์ได้ก็โดยผ่านการเรียกกระบวนคำสั่งของระบบปฏิบัติการ (operating system procedure)โปรแกรมประยุกต์จะทำงานในแบบวิธีไม่เอกสิทธิ์ เพื่อป้องกันการทำงานแบบเอกสิทธิ์ซึ่งสำคัญต่อระบบสูง

2.2.7 องค์ประกอบของซีพียู

2.2.7.1ไอพียู (IPU หรือ Instruction Processing Unit)

มีหน้าที่ 4 ประการคือ

1) กระทำการ (execute)กับคำสั่งเครื่อง

2) จัดเตรียมและเรียงลำดับการขัดจังหวะ (interrupt)ของกระบวนการที่ทำงานอยู่

3) แปลงส่ง (map)จากหน่วยความจำเชิงตรรกะ (logical)ไปยังหน่วยความจำเชิงกายภาพ (physical)

4) ถ่ายโอนข้อมูลจากบัสระหว่างซีพียูไปยังหน่วยความจำ

คำสั่งของโปรแกรมจะอยู่ในหน่วยความจำ เพื่อจะกระทำการกับคำสั่ง ในเบื้องแรกจะต้องไปนำมา (fetch) ซึ่งตำแหน่ง (location) ในหน่วยความจำโดยที่เลขที่ (address) นั้นถูกเก็บในรีจิสเตอร์ของไอพียู คำสั่งจะถูกบรรจุไปยังรีจิสเตอร์ของไอพียูอีกตัว และจะถูกถอดรหัส (decode) โดยฮาร์ดแวร์เพื่อจะทราบว่าคำสั่งย่อยไหนควรกระทำการก่อนหลัง ช่วงระหว่างการกระทำการของคำสั่ง การถ่ายโอนในหน่วยความจำจะเกิดขึ้น รีจิสเตอร์ชั่วคราวของไอพียูใช้เพื่อเก็บการคำนวณชั่วคราวและตัวถูกดำเนินการ (operand) จะเพิ่มเข้าหรือ ลบออกจากกองซ้อน (stack) ของรีจิสเตอร์ของไอพียู ไอพียูจะประมวลผลแบบสายท่อ

(pipeline)ของหลายคำสั่งในเวลาเดียวกัน ตัวอย่าง เช่น คำสั่งหนึ่งกำลังกระทำการ คำสั่งถัดมาจะถูกนำมาจากหน่วยความจำในเวลาเดียวกัน

สำหรับตัวประมวลผลนิดนอนสตอป เวลาวงรอบของคำสั่งจุลภาค (micro-instruction)คือ 100 นาโนวินาที ความยาวของคำสั่งจุลภาค มีขนาด 32 บิตรวมบิตภาวะคู่หรือคี่ สำหรับตัวประมวลผลทีเอ็กซ์พี เวลาวงรอบของคำสั่งจุลภาคคือ 83 นาโนวินาที ความยาวคำสั่งจุลภาคคือ 109 บิตรวมบิตภาวะคู่หรือคี่

ชุดคำสั่งพื้นฐานของไอพียูประกอบด้วย 250 คำสั่งจุลภาคโดยรวมถึงการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ และหารของตัวดำเนินการขนาด 16 หรือ 32 บิต และ 64 บิต การปฏิบัติการเชิงตรรกะ เช่น AND OR และ XOR การเลื่อนบิต การย้ายบล็อก เปรียบเทียบ การกวาดตรวจ(scan) การเรียกระบบ (system call)การส่งผ่านบัสระหว่างซีพียู และคำสั่งเกี่ยวกับนำเข้า-ส่งออกข้อมูลทั้งหมด ความยาวคำสั่งมีขนาด 16 บิต

2.2.7.2 หน่วยความจำ (memory)

<u>หน่วยความจำเชิงกายภาพ (physical memory)</u> คือ เนื้อที่สำรองไว้โดยมีตำแหน่ง(location) หน่วยความจำ ซึ่งมีให้กับตัวประมวลผลบนบอร์ดของหน่วยความจำนั้น ๆ

ตัวประมวลผลนอนสตอป พู และ นอนสตอป ทีเอ็กซ์พี มีบอร์ดหน่วยความจำได้ 4 บอร์ด ดังนั้นถ้าซีพียูประกอบด้วยบอร์ดหน่วยความจำ 4 บอร์ดซึ่งมีขนาด 2 เมกะไบต์ต่อ 1 บอร์ด ดังนั้นหน่วยความจำเชิงกายภาพมีค่า 8 เมกะไบต์ ช่วงเลขที่อยู่ตำแหน่ง (address) มากสุดสำหรับหน่วยความจำเชิงกายภาพคือ 16 เมกะไบต์ เพราะแต่ละซีพียูจะมีบอร์ดหน่วยความจำของตัวเอง

ข้อมูลจะถูกเก็บในหน่วยความจำเชิงกายภาพในรูป 16 บิตเวิร์ด 1 หน้า(page) มีขนาด 1024 เวิร์ด

แม้ว่าการเข้าถึงหน่วยความจำเชิงกายภาพจะเป็นแบบเน้นเป็นคำๆ (word boundary) คำสั่งที่ใช้ยังคงเข้าถึงแบบเป็นไบต์ คำสองเท่า (double word) และคำสี่เท่า

<u>หน่วยความจำเชิงตรรกะ (logical memory)</u> คือ หน่วยความจำที่ระบุจากกระบวนการเฉพาะ เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อที่ของหน่วยความจำเสมือน (virtual memory) เลขที่อยู่สำหรับหน่วยความจำเสมือนในตัวประมวลผลเดียว คือ 1 กิกะไบต์หน่วยความจำเสมือนประกอบด้วยเซกเมนต์ทั้งหมดในช่วงที่ต้องการจองไว้ หน่วยความจำเชิงตรรกะสำหรับกระบวนการต่างๆจะถูกกำหนดโดยจำนวนเซกเมนต์หน่วยความจำเสมือน และเป็นอิสระจากหน่วยความจำเชิงกายภาพ

การกำหนดเลขที่อยู่ (addressing) ของหน่วยความจำสามารถกำหนดโดยเลขที่อยู่เชิงตรรกะหรือเลขที่อยู่เชิงกายภาพ เลขที่อยู่เชิงตรรกะ (logical address)ประกอบด้วย 16 บิต ซึ่งสามารถสร้างเลขที่อยู่ได้มากถึง 64 กิโลเวิร์ด (1 เซกเมนต์ของหน่วยความจำ)

เนื่องจากกระบวนการประกอบด้วยพื้นที่กำหนดเลขที่อยู่ทั้งรหัสและข้อมูล บางกระบวนการอาจมีหลายเซกเมนต์รหัส ศักยภาพของหนึ่งกระบวนการสามารถเข้าถึงได้มากกว่า 4 เมกะเวิร์ด โดยไม่ต้องใช้การกำหนดเลขที่เพิ่มเติม (extended addressing)

เลขที่อยู่เชิงกายภาพประกอบด้วยขนาด 23 บิต ซึ่งจะทำให้การกำหนดเลขที่อยู่ได้ถึง 16 เมกะไบต์ ถ้าเป็นตัวประมวลผลรุ่นอื่นก็จะมีขนาดต่างไป เช่นรุ่น วีแอลเอ็กซ์ (VLX) โดยข้อมูลทั้งหมดจะมีการตรวจสอบความถูกต้องเมื่อมีการอ่านจากหน่วยความจำโดยวิธีเพิ่มเติมบิต

2.2.7.3 ช่องทางรับเข้า-ส่งออก (Input-output channel)

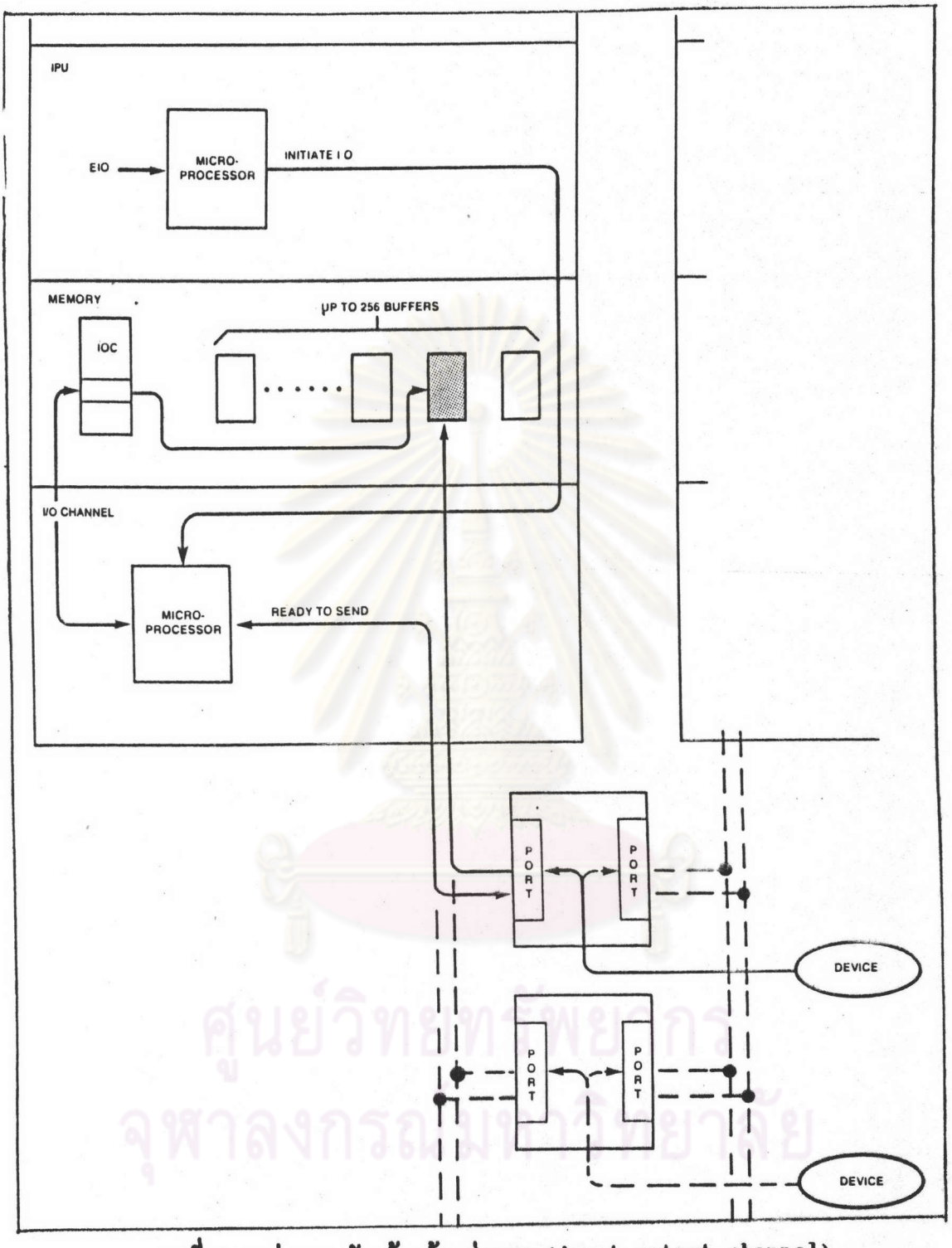
แต่ละซีพียูจะมีช่องทางรับเข้า-ส่งออกของตัวเองซึ่งสามารถถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์รับเข้าและหน่วยความจำด้วยความเร็วของหน่วยความจำ การปฏิบัติการรับเข้าส่งออกซึ่งควบคุมโดยระบบปฏิบัติการจะถูกกำหนดการเริ่มต้นโดยการสร้างข้อมูลในตารางในหน่วยความจำแล้วกระทำการคำสั่งกระทำการรับเข้าส่งออก เมื่อกำหนดการเริ่มต้นแล้วการถ่ายโอนข้อมูลจะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน เมื่อการปฏิบัติการเสร็จสิ้นกระบวนการที่กระทำการอยู่จะถูกขัดจังหวะและการควบคุมของไอพียูจะถูกถ่ายโอนไปยังระบบปฏิบัติการการขัดจังหวะ

แต่ละช่องทางรับเข้า-ส่งออกสามารถกำหนดเลขที่อยู่ได้ถึง 256 อุปกรณ์รับเข้า-ส่งออก การกำหนดเลขที่อยู่แต่ละอันจะเป็นช่องทางย่อย (subchannel) ในการปฏิบัติการรับเข้าส่งออก 1 ครั้ง คือ ความสามารถถ่ายโอนข้อมูลขนาดบล็อกจาก 1 ถึง 65535 ไบต์

ตารางที่ใช้ควบคุมการถ่ายโอนรับเข้าส่งออกเรียกว่า ตารางควบคุมไอโอ หรือ ไอโอซี (I/O Control or IOC table) แต่ละซีพียูจะมีตารางไอโอซีของแต่ละซีพียู (ดูรูปที่ 2.2) ตารางนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยทั้งระบบปฏิบัติการและรหัสคำสั่งจุลภาค (microcode) ขนาดของตารางมีถึง 256 ระเบียนสอดคล้องกับอุปกรณ์ 256 อุปกรณ์ที่มีได้ในช่องทางของซีพียู แต่ระเบียนประกอบด้วยเลขที่อยู่บัฟเฟอร์ และขนาดของจำนวนไบต์ที่ถูกถ่ายโอน การเรียกใช้ตารางไอโอซีเป็นการอนุญาตให้ช่องทางรับเข้า-ส่งออกที่ติดต่อกับอุปกรณ์พร้อมๆกัน เมื่อมีการถ่ายโอนข้อมูลซึ่งได้กำหนดขนาดในตารางไอโอซี อุปกรณ์จะขัดจังหวะกระบวนการที่กำลังกระทำการอยู่ (execute)

2.2.7.4 บัสประสานระหว่างซีพียู (Interprocessor Bus Interface)

ระบบคอมพิวเตอร์มีบัส 2 เส้น (ดูรูปที่2.3) แต่ละบัสมีหน้าที่เป็นอิสระจากกันมี-



รูปที่ 2.2 ช่องทางรับเข้าเข้า-ส่งออก (input-output channel)

หน้าที่ถ่ายโอนข้อมูลจากหน่วยความจำของซีพียูหนึ่งไปยังหน่วยความจำของอีกซีพียู ทั้งสองบัส สามารถใช้ได้พร้อมกัน

ข้อมูลจะถูกถ่ายโอนไปตามบัสในอัตรา 13.33 เมกะไบต์ต่อวินาที แต่ละบัสสามารถถ่ายโอนข้อมูลไปยังทุกซีพียูพร้อมๆกันบนกลุ่มข้อมูล (data packet) เบื้องต้นได้

ในการถ่ายโอนข้อมูลผ่านบัสเกี่ยวข้องกับสองซีพียูคือซีพียูผู้รับและซีพียูผู้ส่ง การถ่ายโอนจะเริ่มต้นโดยผู้ส่งส่งคำสั่ง SEND เข้ากระทำการ ผู้รับจะตรวจสอบข้อความที่เข้ามาว่าถูกต้องหรือไม่ (โดยใช้ผลรวมตรวจสอบ ลำดับที่ และ ตัวเลขเป้าหมายของผู้รับ) และส่งตรงข้อมูลที่เข้ามาไปยังบัฟเฟอร์ของหน่วยความจำหลัก ซอฟต์แวร์จะมีการปรับปรุงตารางรับผ่านบัสหรือ บีอาร์ที (Bus Recieve or BRT table) แต่ละหน่วยความจำของซีพียูประกอบด้วยบีอาร์ที บีอาร์ทีจะรู้จักโดยเฟิร์มแวร์ (firmware) และเปลี่ยนแปลงโดยระบบปฏิบัติการซึ่งถูกใช้เพื่อส่งข้อมูลที่เข้ามาไปยังตำแหน่ง (location) ในหน่วยความจำของซีพียู บีอาร์ทีประกอบด้วยระเบียน 16 ระเบียน (สอดคล้องกับจำนวนซีพียูที่เป็นไปได้ในระบบ) แต่ละระเบียนระบุลำดับที่กลุ่มไว้ เลขที่อยู่บัฟเฟอร์ที่จะนำข้อมูลนั้นไปเก็บไว้และจำนวนไบต์ที่ถ่ายโอน เมื่อจำนวนไบต์ที่ต้องการได้รับครบแล้วกระบวนการที่กระทำการอยู่จะถูกขัดจังหวะ

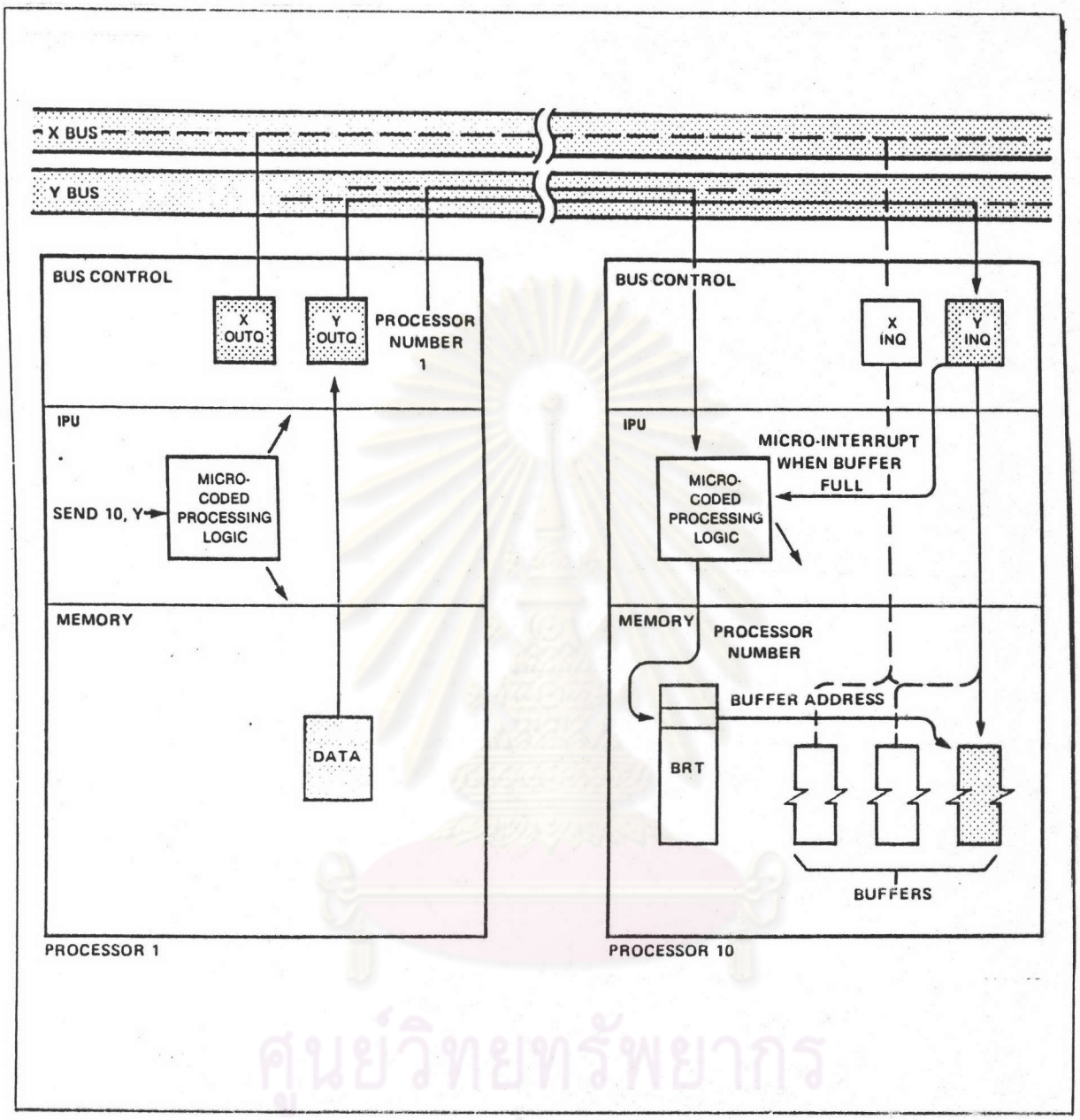
2.2.7.5 องค์ประกอบอื่นๆ (Other features)

นอกจาก 4 องค์ประกอบหลักดังกล่าวแล้วแต่ละซีพียูยังมีองค์ประกอบที่สำคัญอื่นอีกซึ่งจะกล่าวโดยย่อและดูรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย

ตัวสร้างนาฬิกา (clock generator) คือ นาฬิกาของซีพียูเพื่อให้เกิดการประสานจังหวะ (Synchronization) ของฮาร์ดแวร์ทั้งหมดภายใต้ซีพียู ตัวประมวลผลแบบนอนสตอป ทู มีวงรอบนาฬิกา 100 นาโนวินาที (10 เมกะเฮิร์ท) ขณะที่ซีพียูแบบทีเอ็กซ์ทีมีวงรอบนาฬิกา 83.33 นาโนวินาที (12เมกะเฮิร์ท)

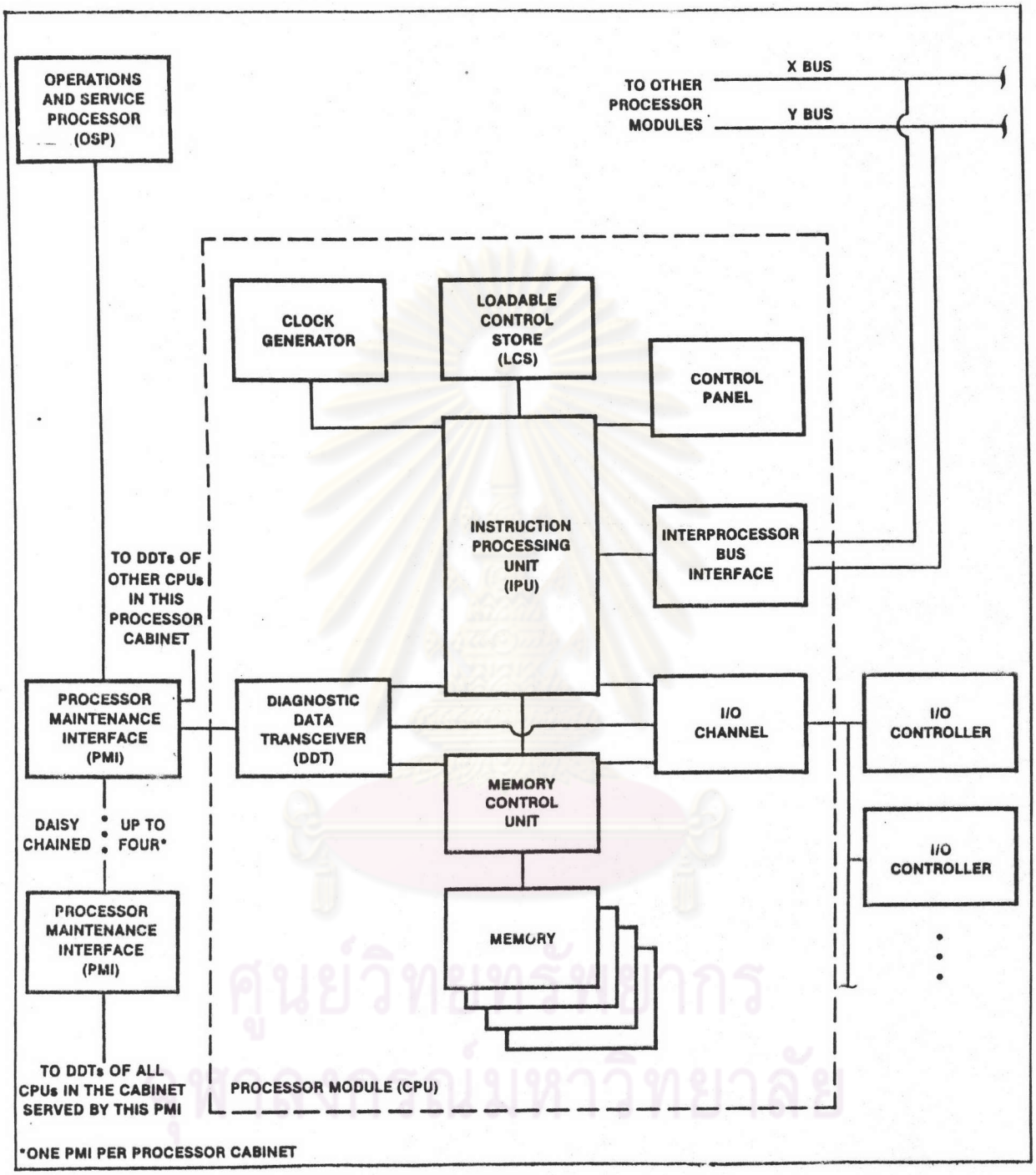
หน่วยเก็บควบคุมการบรรจุ หรือ แอลซีเอส (Loadable Control Store or LCS) ประกอบด้วยคำสั่งจุลภาคในการใช้งานโดยไอพียู แต่ละคำสั่งเครื่องทำให้ไอพียูกระทำการชุดของคำสั่งจุลภาค

แผงควบคุม (Control Panel) คือการยอมให้ผู้ควบคุมเครื่องทำการกับซีพียูได้โดยตรง ส่วนนี้ใช้เพื่อตั้งใหม่ซีพียู การเริ่มเดินเครื่อง



รูปที่ 2.3 บัสประสานข้ามซีพียู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

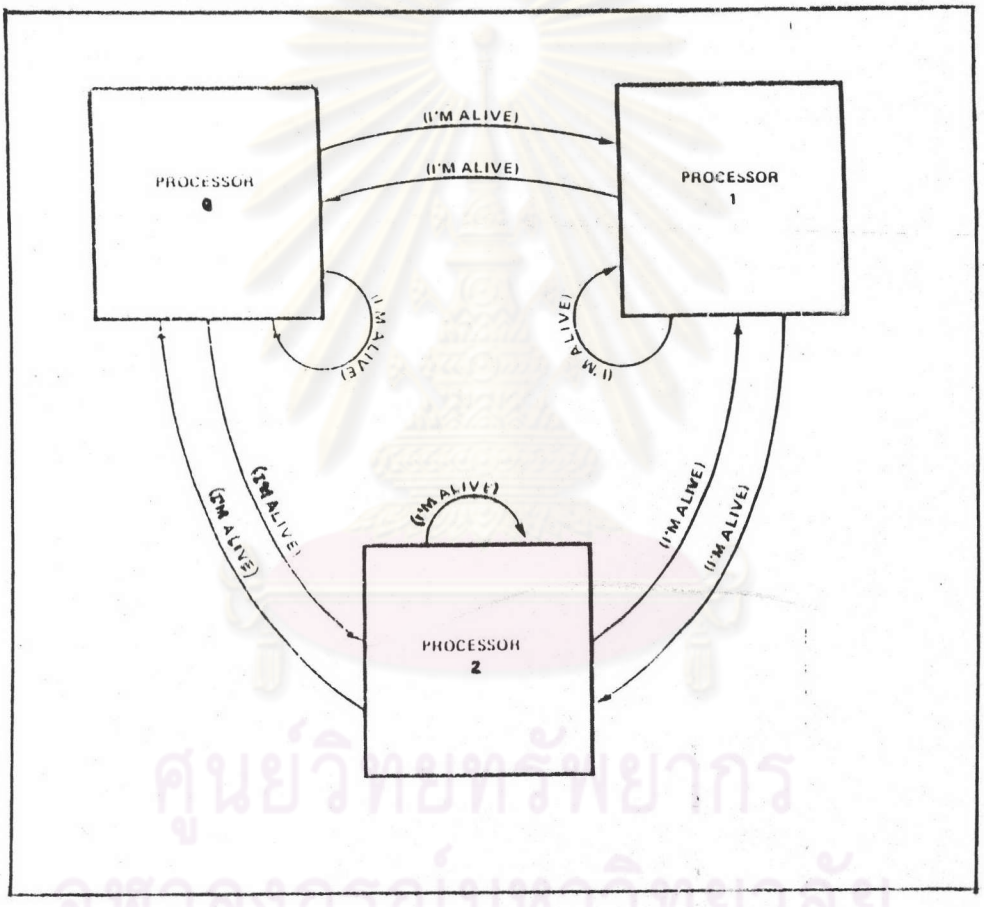


รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของตัวประมวลผล

2.3 โครงสร้างระบบปฏิบัติการ

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

ในระบบคอมพิวเตอร์เครื่องนี้ จะมีการทำชุดของระบบปฏิบัติการและติดตั้งไปตามแต่ละซีพียู แต่ละซีพียูจะใช้งาน หรือกระทำการบางส่วนของชุดต่างๆเหล่านี้โดยขึ้นกับโครงแบบที่กำหนดขึ้น โดยปกติระบบปฏิบัติการจะติดตั้งที่จานแม่เหล็กซึ่งเป็นมิเรอร์ดิสก์ ซึ่งมิเรอร์คือ คู่ของจานแม่เหล็กที่เป็นอิสระในทางกายภาพ และเชื่อมต่อกับตัวควบคุมที่แยกกัน แต่การเข้าถึงอยู่ในรูปจานแม่เหล็กเดียวและควบคุมจัดการโดยโปรแกรมรับเข้า-ส่งออกเดียวกัน



รูปที่ 2.5 ระบบตรวจจับความผิดพลาดโดยการส่งข้อความ

ส่วนของระบบปฏิบัติการที่ใช้บ่อยๆและสำคัญจะยังคงอยู่อย่างถาวรในแต่ละหน่วยความจำของซีพียูต่างๆ ส่วนที่ไม่สำคัญและใช้งานไม่บ่อยนักจะจัดอยู่ในหน่วยความจำเสมือน ซึ่งก็คือการใช้งานโดยดึงข้อมูลจากจานแม่เหล็กไปยังหน่วยความจำของซีพียูเมื่อต้องการ

แม้ว่าแต่ละซีพียูจะปฏิบัติงานอย่างเป็นอิสระภายใต้การควบคุมของระบบปฏิบัติการ

ก็ตาม ทุกซีพียูจำเป็นต้องติดต่อซึ่งกันและกัน เพื่อจัดเตรียมความน่าเชื่อถือสำหรับการสื่อสาร ระหว่างตัวประมวลผล (interprocessor communication)แต่ละซีพียูจะเฝ้าคุมสถานะของซีพียูที่เหลือในระบบโดยใช้ระบบการถ่ายโอนผ่านบัสข้ามซีพียู ทุกซีพียูในระบบจะต้องได้รับข้อความจากซีพียูที่เหลือ (แม้แต่ตัวเอง) อย่างน้อยหนึ่งครั้งในช่วงการส่งสัญญาณโดยประมาณ 1 วินาที ด้วยเหตุผลนี้แต่ละซีพียูจะถ่ายโอนข้อความเพื่อระบุว่าตนเองยังทำงานอยู่ ข้อความนั้นอาจเรียกว่า "ฉันยังมีชีวิตอยู่"(I'm alive)

ถ้าซีพียูใดไม่ได้รับข้อความดังกล่าวจากซีพียูอื่นช่วงระหว่างการส่งสัญญาณ ซีพียูนั้นจะถือว่าไม่สามารถทำงานได้ (ดูรูปที่ 2.5 ประกอบ)

2.3.2 <u>องค์ประกอบหลักของระบบปฏิบัติการ</u>

ระบบปฏิบัติการการ์เดียน (Guardian Operating System) ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

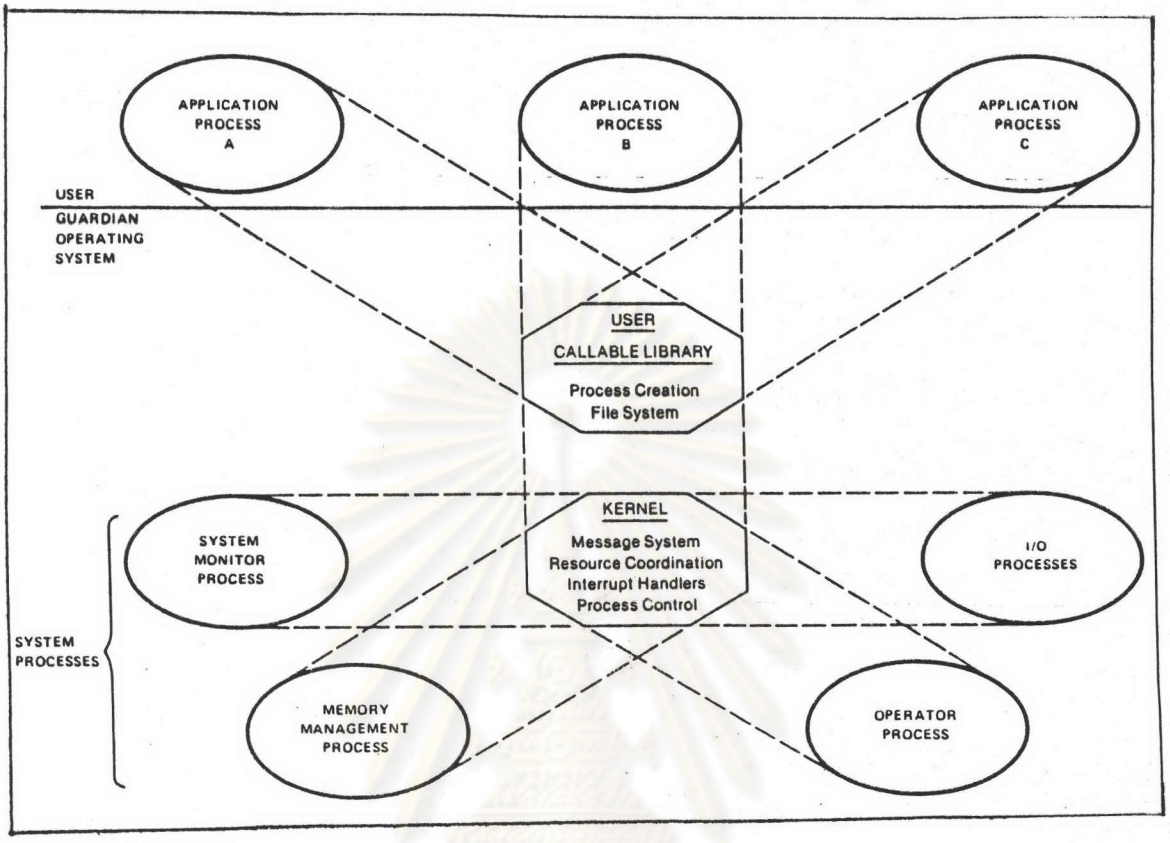
1. กระบวนคำสั่ง (Procedure)ซึ่งผู้ใช้ต้องการเรียกใช้และรูทีนต่างๆ
2. กระบวนการระบบ (System Process)ซึ่งเกี่ยวพันกับเซกเมนต์ข้อมูล
3. ใจกลาง (Kernel)
4. โครงสร้างข้อมูลระบบ (System data structure)

จากรูป 2.6 รูปวงรีแสดงถึงกระบวนการระบบและกระบวนการผู้ใช้ รูปแปดเหลี่ยมแสดงส่วนหนึ่งของคลังระบบ (system library) ซึ่งประกอบด้วยคลังกระบวนคำสั่งผู้ใช้เรียกใช้ (user-callable library procedures) และกระบวนคำสั่งใจกลาง (Kernel procedures) เส้นไข่ปลาแสดงเส้นทางระหว่างกระบวนการและคลังโปรแกรม เส้นทางนี้แสดงถึงการไหลของข้อมูลภายใต้ระบบ ในบางกรณีเส้นทางนี้อาจจะเดินย้อนกลับเนื่องจากมีการใช้กระบวนคำสั่ง ในกรณีอื่นๆเส้นทางนี้จะเป็นตัวนำข้อความ (message)ไปยังกระบวนการหรือออกจากกระบวนการ

จุดร่วมของระบบดังแสดงในรูปคือคลังโปรแกรมที่ผู้ใช้เรียกใช้และใจกลาง คำร้องขอจะถูกสร้างโดยกระบวนการงานประยุกต์ (application process) โดยมีการเรียกใช้กระบวนคำสั่งคลังโปรแกรม แต่สำหรับเส้นทางสื่อสารระหว่างกระบวนการระบบ คือ ใจกลางของโปรแกรมระบบ

2.3.2.1 กระบวนคำสั่งซึ่งผู้ใช้เรียกใช้ในคลังโปรแกรม

การกระทำการใดของกระบวนการงานประยุกต์จะสร้างคำร้องขอ เพื่อขอรับบริการจากระบบปฏิบัติการโดยการเรียกใช้คลังโปรแกรม กระบวนคำสั่งจะทำงานในสภาพ



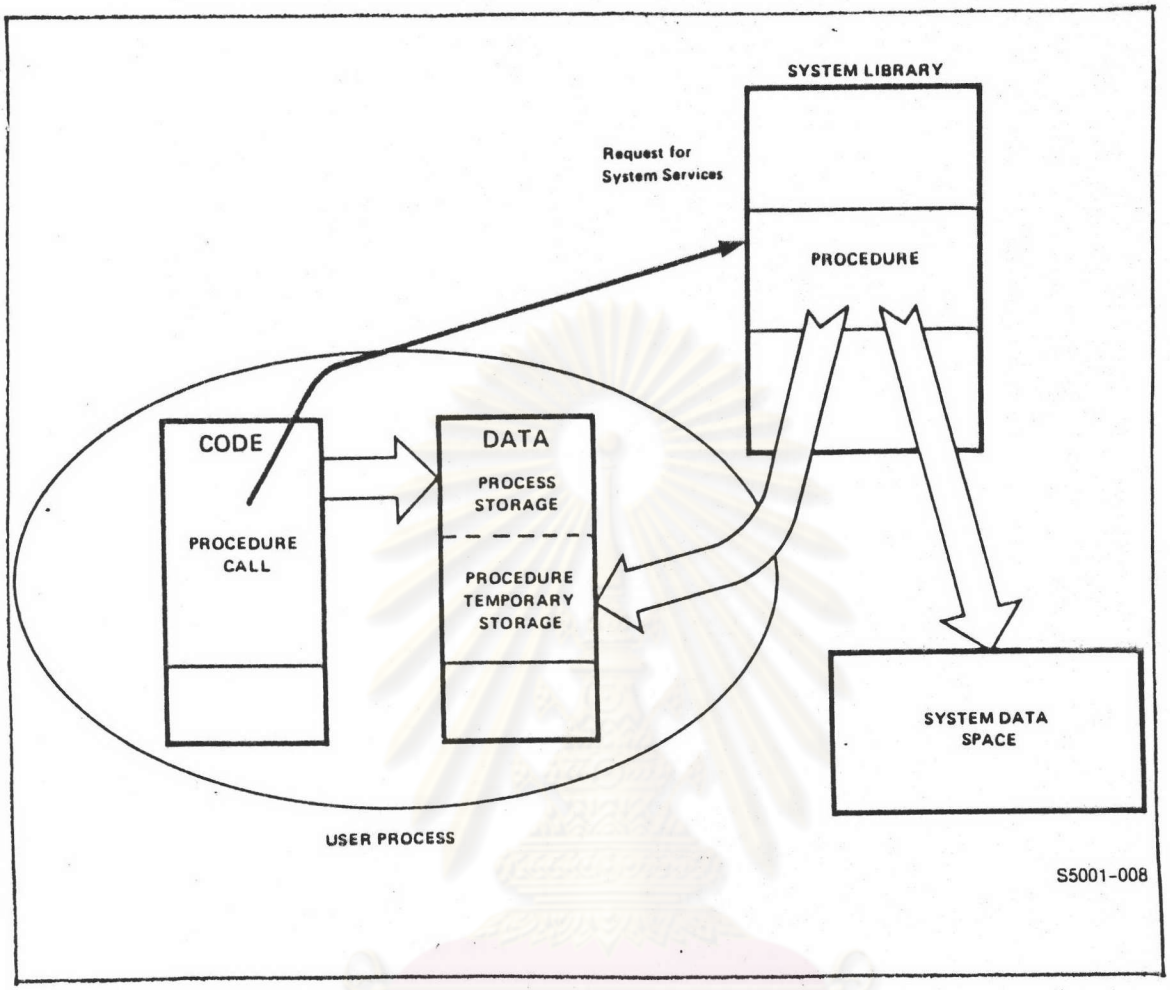
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของระบบปฏิบัติการเชิงตรรกะ

แวดล้อมในการเป็นข้อมูลของกระบวนคำสั่ง และใช้ข้อมูลของกระบวนการเป็นที่สำรองชั่วคราว แต่สามารถกระทำการเข้าถึงข้อมูลโครงสร้างตารางระบบในแบบของเอกสิทธิ์ (privileged mode) เช่น การเก็บอยู่ในเซกเมนต์ของข้อมูลระบบดังรูป 2.7

กระบวนคำสั่งคลังโปรแกรมที่ผู้ใช้เรียกใช้ เช่น คำสั่ง OPEN หรือ READ หรือ WRITE และ CLOSE จะอยู่ในรหัสของระบบ (system code) และสามารถใช้ร่วมกับกระบวนการอื่นๆ ที่ต้องการบริการเหล่านี้

2.3.2.2 กระบวนการระบบ (System Process)

กระบวนการระบบ คือ ชุดของกระบวนการเอกสิทธิ์ (privileged process) ซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการกำหนดโครงแบบ แล้วทำการก่อกำเนิดระบบ และอยู่กับเครื่องตราบเท่าที่เครื่องยังเปิดอยู่ กระบวนการระบบประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ คือ ผู้จัดการหน่วยความจำ



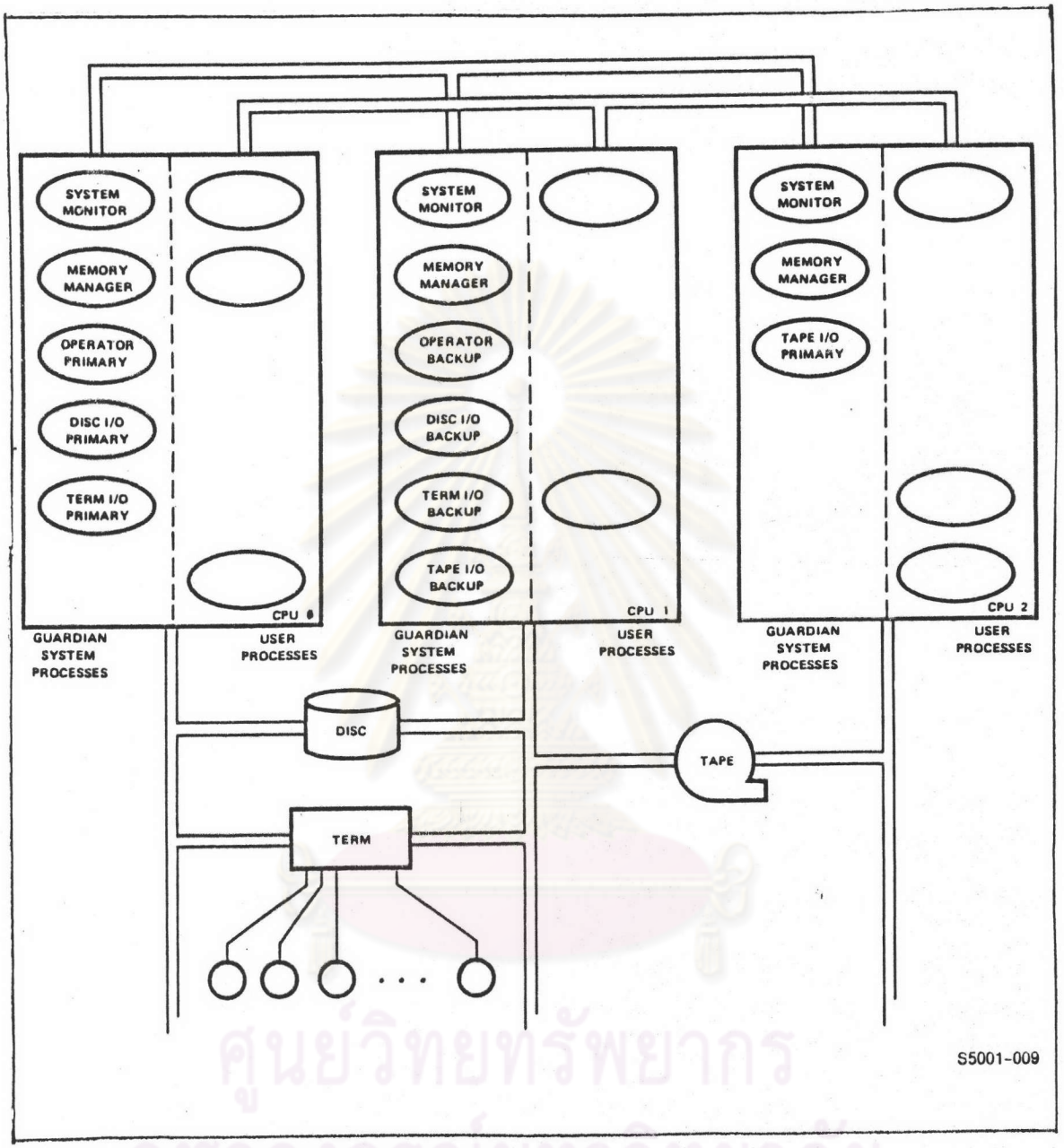
รูปที่ 2.7 กระบวนการงานประยุกต์ที่เข้าถึงการบริการของระบบ

(memory manager) และระบบเฝ้าคุม (monitor system)ในแต่ละซีพียู นอกจากนี้ยังมีกระบวนการตัวดำเนินการและกระบวนการรับเข้าส่งออกกระจายอยู่ตามซีพียูของระบบ ตามรูป 2.8 การกระจายของกระบวนการระบบจะมีอยู่ทุกๆซีพียู แต่บางส่วนจะพบเฉพาะซีพียูที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์เชื่อมโยง รายละเอียดเหล่านี้จะปรากฏในโครงแบบของระบบ

<u>ตัวอย่างของกระบวนการระบบ</u>

<u>ผู้จัดการหน่วยความจำ (Memory Manager)</u>

ทำหน้าที่ให้บริการคำร้องขอที่เกิดจากตัวจัดกระทำการขัดจังหวะ (interrupt handlers) หรือ กระบวนการระบบอื่น โดยหลักการแล้วกระบวนการนี้จะทำงานในลักษณะการ

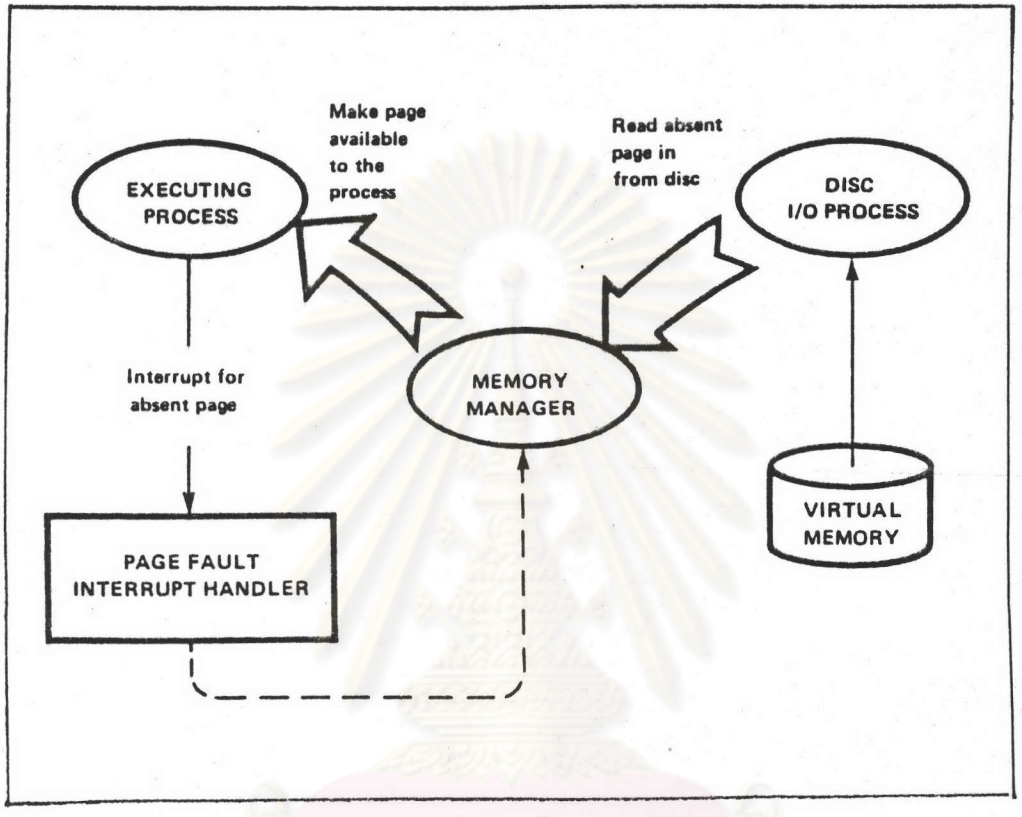


รูปที่ 2.8 การกระจายของกระบวนการระบบ

สลับหน้า (paging) สำหรับหน่วยความจำเสมือน

ผู้จัดการหน่วยความจำจะได้รับคำร้องขอจาก ตัวจัดกระทำการขัดจังหวะที่ผิดพลาดหน้า (Page Fault interrupt handler) เพื่อนำหน้าที่ต้องการเข้าไปยังหน่วยความจำของซีพียูจากจานแม่เหล็ก ทั้งนี้จะมีกระบวนการเฝ้าคุมทำหน้าที่ติดตั้งสภาพแวดล้อมการทำงาน

ของหน่วยความจำให้ เนื่องจากผู้จัดการหน่วยความจำเกี่ยวข้องเฉพาะทรัพยากรในซีพียูซึ่งกำลังทำงานอยู่จึงต้องมีกระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำอยู่ทุกซีพียูในระบบดังรูป



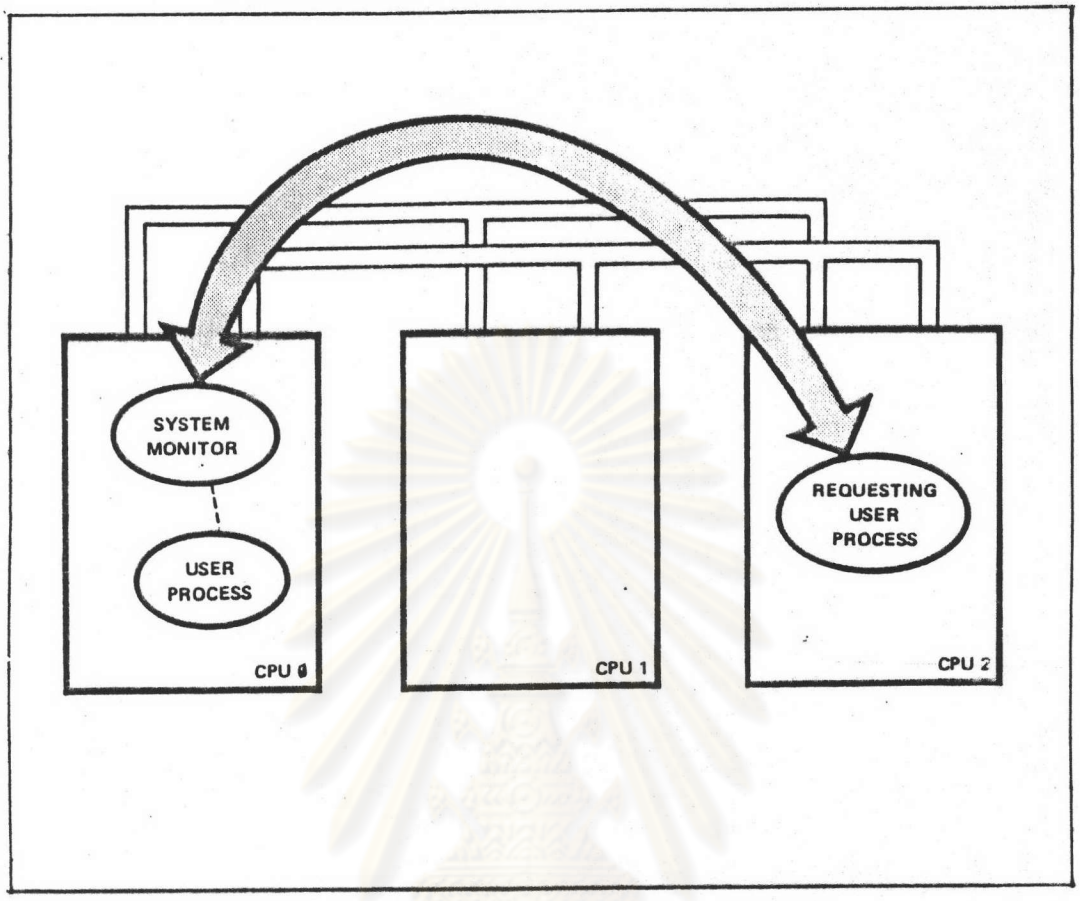
รูปที่ 2.9 กระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำ

<u>กระบวนการเฝ้าคุม (Monitor Process)</u>

เช่นเดียวกับกระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำ กระบวนการเฝ้าคุมจะมีอยู่ทุกซีพียูในระบบตามรูป 2.10 กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เก็บกวาดและเริ่มต้นสร้างกระบวนการใหม่และลบกระบวนการต่างๆ ออกจากซีพียู นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเสมือนแหล่งข้อมูลสำหรับกระบวนการที่กำลังทำงานอยู่ทุกซีพียูในระบบ ตัวอย่างเช่นถ้ากระบวนการกำลังทำงานในซีพียู 2 ต้องการทราบสถานะเกี่ยวกับกระบวนการที่ทำงานในซีพียู 0 กระบวนการเฝ้าคุมในซีพียู 0 จะได้รับการติดต่อด้วยคำร้องขอเพื่อส่งข้อมูลที่จำเป็นให้

<u>กระบวนการผู้ดำเนินการ (Operator Process)</u>

จะทำงานในลักษณะกระบวนการคู่ไม่เหมือนกระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำและ



รูปที่ 2.10 กระบวนการเฝ้าคุม

กระบวนการเฝ้าคุม ซึ่งจะมีเพียง 2 ชุด คือ กระบวนการหลักและกระบวนการสำรองเท่านั้นในระบบแม้ว่าจะมีหลายซีพียู ความรับผิดชอบหลักของกระบวนการหลัก คือการถ่ายโอนข้อความของกระบวนการดำเนินการไปยังจอเฝ้าคุมและจานแม่เหล็ก กระบวนการสำรองจะรับข้อความจากกระบวนการหลักตลอดเวลาในกรณีที่กระบวนการหลักมีปัญหา กระบวนการสำรองจะเข้าทำงานแทนที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการรับเข้า-ส่งออก (Input-Output Process)

กระบวนการนี้จะทำหน้าที่จัดการฮาร์ดแวร์ โดยปกติกระบวนการนี้จะควบคุมเฉพาะอุปกรณ์เดียว ตัวอย่างเช่น เครื่องพิมพ์ จานแม่เหล็กที่ไม่มีมิรเรอร์ แต่ถ้าเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับจอภาพ กระบวนการทางด้านการสื่อสาร และ กระบวนการคุมจานแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับมิรเรอร์ดิสก์ ชุดของกระบวนการรับเข้าส่งออกที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ยังคงอยู่ในหน่วยความจำสำหรับแต่ละซีพียูซึ่งต่างก็ต่อกับตัวควบคุมอุปกรณ์ สองกระบวนการที่ควบคุม คือ กระบวนการหลัก

และกระบวนการสำรองจะทำงานไปด้วยกันตลอด โดยจะทำงานคนละซีพียูแต่ใช้รหัสเดียวกัน

คำร้องขอเพื่อการปฏิบัติการรับเข้า-ส่งออก ปกติจะมาจากระบบแฟ้มข้อมูลของการ์เดียน (GUARDIAN file system) ซึ่งระบบแฟ้มข้อมูล คือชุดของกระบวนคำสั่งของระบบ ซึ่งบางส่วนอยู่ในกลุ่มการเรียกใช้ของผู้ใช้และบางส่วนอยู่ในใจกลาง กระบวนการเหล่านี้จะทำงานบางส่วนของกระบวนการของผู้ใช้และส่งข้อความไปยังกระบวนการรับเข้าส่งออก ซึ่งรับผิดชอบควบคุมอุปกรณ์ กระบวนการรับเข้าส่งออกจะเรียกกระบวนคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เชื่อมโยงมาทำงานในการควบคุมการถ่ายโอนข้อมูล

2.3.2.3 ใจกลาง (Kernel)

คือชุดของคลังโปรแกรมที่บรรจุกระบวนคำสั่งของระบบ ซึ่งจัดเตรียมให้เพิ่มความสามารถของฮาร์ดแวร์ ใจกลางสัมพันธ์กับการปฏิบัติการระดับต่ำ 4 ชนิด คือ

1. การจัดกระทำการขัดจังหวะ (Interrupt Handling)
2. จัดความสัมพันธ์ของทรัพยากร (Resource Coordination) ต่างๆ
3. การถ่ายโอนข้อความระหว่างกระบวนการ (Interprocess message transfers)
4. การจัดการกระบวนการ (Process management)

1. <u>การจัดการขัดจังหวะ</u> บางส่วนของกระบวนคำสั่งจะถูกนำมาใช้เมื่อมีการขัดจังหวะ การขัดจังหวะเหล่านี้มีผลมาจากหลายสาเหตุรวมทั้งความผิดพลาดจากฮาร์ดแวร์ การอ้างอิงรหัสหรือหน้าข้อมูลที่ไม่พบในหน่วยความจำ การส่งข้อความระหว่างซีพียูสำเร็จ การถ่ายโอนข้อมูลรับเข้า-ส่งออกสำเร็จ การปรับปรุงแถวคอยของเวลา และการร้องขอการกระทำการของกระบวนการ (process execution request)

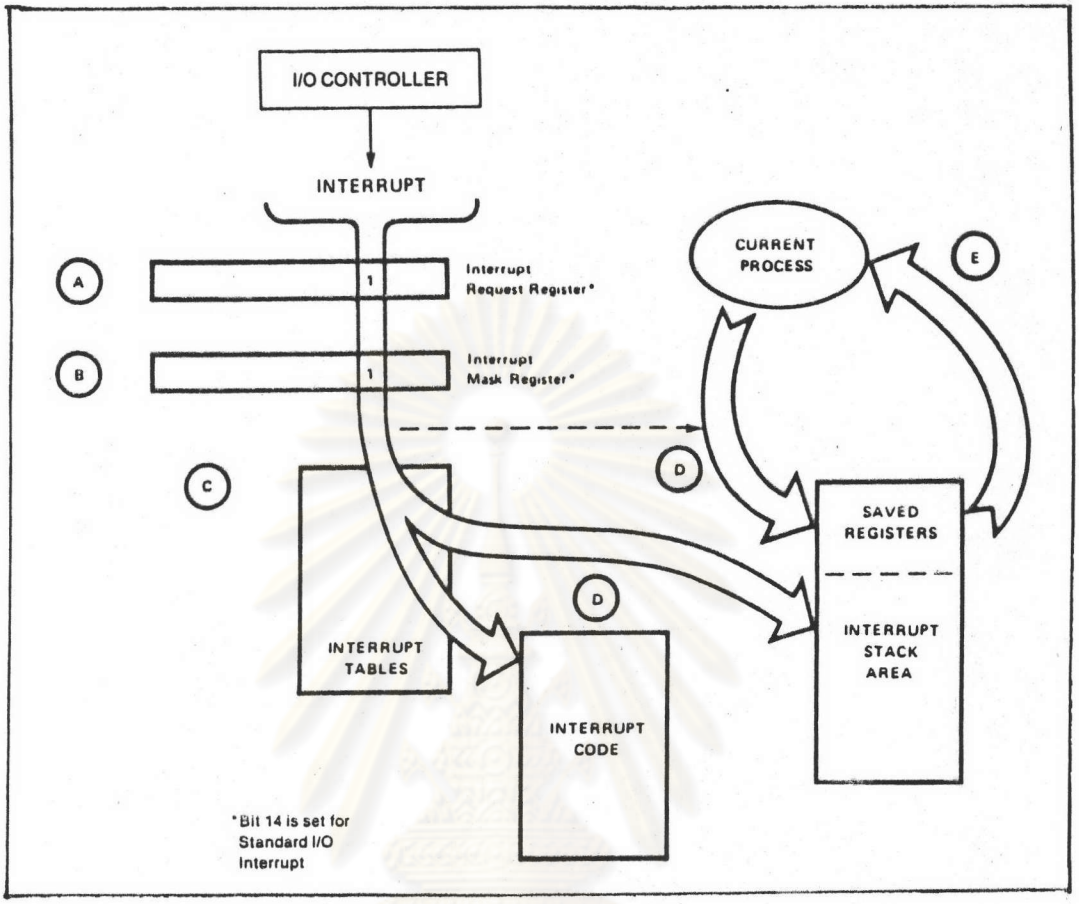
<u>ขั้นตอนการขัดจังหวะ</u> (ดูรูปที่2.11 ประกอบ)

1. ตัวควบคุมรับเข้าส่งออกส่งคำร้องขอขัดจังหวะไปยังไอพียูโดยผ่านทางช่องทาง (channel) ไอพียูจะกำหนดค่าบิตที่ 14 ในรีจิสเตอร์เป็น 1 (ขั้นตอน A ในรูป) เมื่อรหัสจุลภาคตรวจสอบพบการขัดจังหวะ

2. เพราะบิตที่ 14 ของรีจิสเตอร์เป็น 1 (ขั้นตอน B ในรูป) รหัสจุลภาคจะเริ่มกระบวนการขัดจังหวะ

3. รหัสจุลภาคใช้ตัวเลขในรีจิสเตอร์ (บิตที่ 14) เป็นดัชนีในการค้นหาในตารางเซกเมนต์ข้อมูลของระบบ (ขั้นตอน C ในรูป) ข้อมูลนี้จะมีรายละเอียดในการติดตั้งสภาพแวดล้อมในการขัดจังหวะ เช่น เลขที่อยู่ของรหัสและข้อมูลที่ใช้ในการขัดจังหวะ

I17070260



รูปที่ 2.11 การจัดกระทำการขัดจังหวะ

4. รหัสจุลภาคจะเก็บสภาพแวดล้อมของกระบวนการที่ทำงานอยู่นั้นในพื้นที่ของตัวควบคุมการขัดจังหวะพร้อมทั้งกำหนดรหัสและข้อมูลที่ใช้ เพื่อกำหนดสภาพแวดล้อมในการควบคุมการขัดจังหวะ (ขั้นตอน D ในรูป) กระทำการตามรหัสของการจัดกระทำขัดจังหวะ

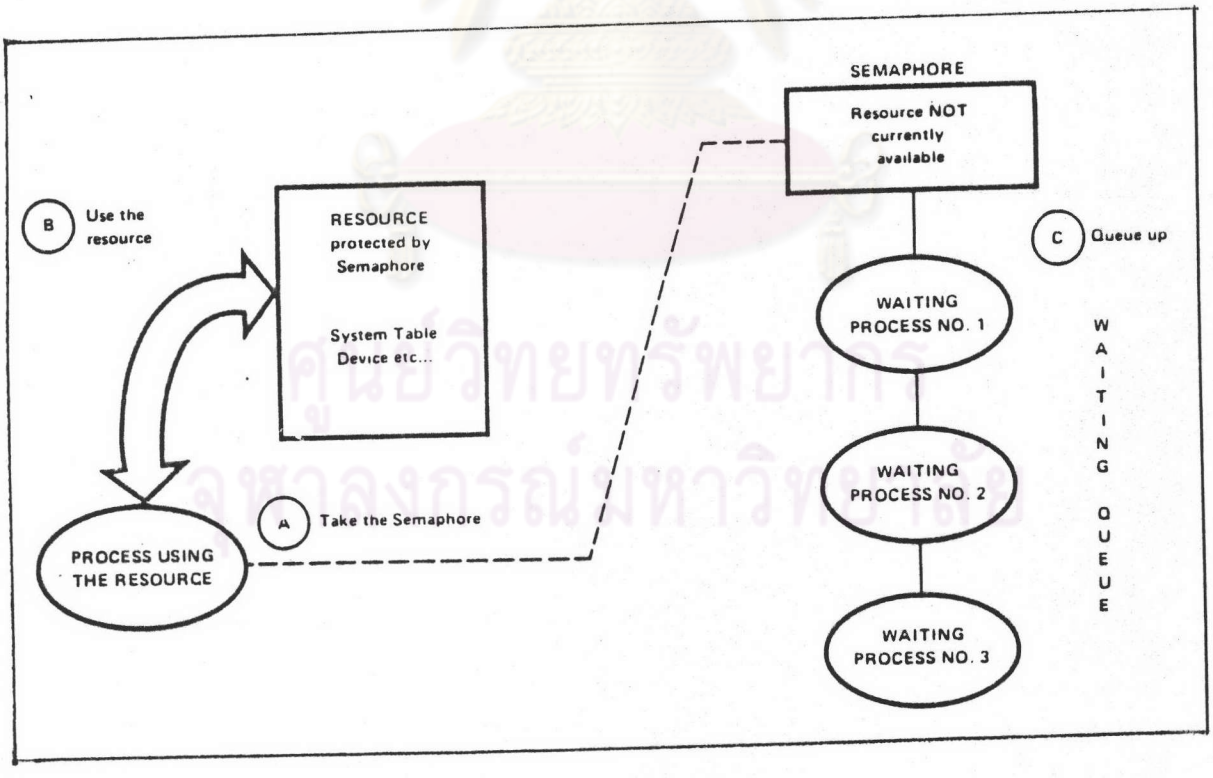
<u>หมายเหตุ</u> แม้ว่าการขัดจังหวะจะใช้รหัสและข้อมูล การขัดจังหวะก็ไม่ถือว่าเป็นกระบวนการ สาเหตุเพราะ ตัวจัดกระทำการขัดจังหวะจะยุ่งเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์หรือรหัสจุลภาคและไม่อยู่ในตารางของระบบที่เกี่ยวเนื่องกับกระบวนการ ระบบปฏิบัติการจะปรับปรุงรหัสของตัวการขัดจังหวะและข้อมูลในหน่วยความจำหลักตลอดเวลาเท่านั้น เพราะต้องตอบสนองการขัด-จังหวะอยู่ทุกเมื่อ

5. เมื่อเสร็จสิ้นการปฏิบัติการ ตัวจัดกระทำการขัดจังหวะจะกระทำการหนึ่งในสองประการนี้

ก. ส่งการควบคุมไปยังกระบวนการการขัดจังหวะในจุดที่เกิดการขัดจังหวะ (ขั้นตอน E ในรูป) การจัดกระทำการขัดจังหวะจะกลับคืนสภาพแวดล้อมการขัดจังหวะโดยการกำหนดค่ารีจิสเตอร์ใหม่ในพื้นที่ของข้อมูลการขัดจังหวะ

ข. ส่งผ่านการควบคุมไปยังตัวเลือกจ่ายงาน (Dispatcher) ซึ่งเป็นตัวจัดกระทำการขัดจังหวะอีกตัว โดยปกติจะเกิดในกรณีการขัดจังหวะที่สำคัญ เมื่อกระบวนการที่มีบุริมภาพ(priority)สูงขึ้น กระบวนการที่กำลังทำงานอยู่ซึ่งจะกลายเป็นสถานะพร้อม(ready) เพื่อทำงานจากการขัดจังหวะ ในกรณีนี้ตัวเลือกจ่ายงานจะเปลี่ยนสภาพการกระทำของกระบวนการโดยการเลือกกระบวนการที่มีบุริมภาพสูงซึ่งพร้อมจะทำงานและกำหนดค่ารีจิสเตอร์ในยีพียูให้อนุญาตให้ทำงาน

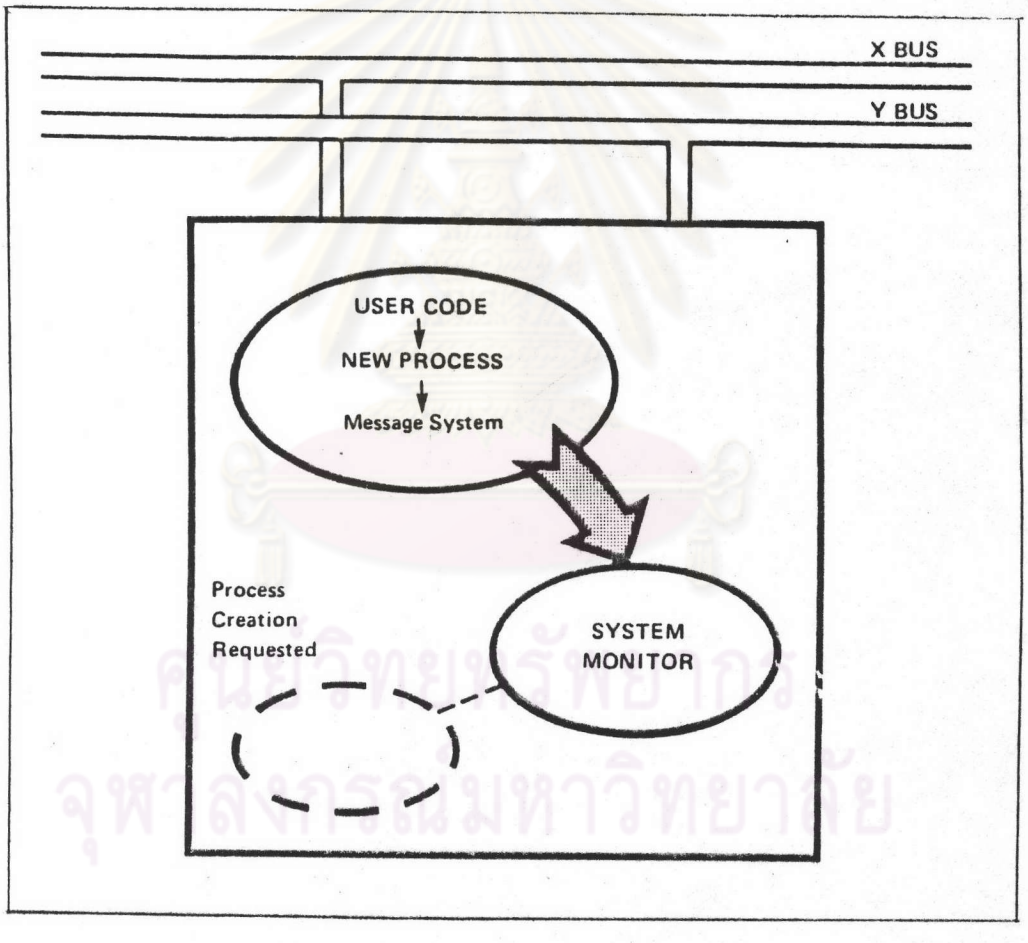
2. <u>การจัดความสัมพันธ์ทรัพยากรต่างๆ</u> ในระบบปฏิบัติการที่ซับซ้อนเมื่อมีกระบวนการแข่งขันกันร้องขอทรัพยากรหรือพยายามเปลี่ยนตารางระบบในเวลาเดียวกัน สำหรับสองกลไกที่ใช้ในระบบปฏิบัติการนี้ คือ การใช้เซมาฟอร์ (semaphore use) และ การไม่เกิดร่วม (mutual exclusion)



รูปที่ 2.12 การใช้เซมาฟอร์เพื่อจัดการทรัพยากร

3. <u>การถ่ายโอนข้อความระหว่างกระบวนการ</u> เนื่องจากระบบเครื่องเทนเล็มมีหลายซีพียูหลายระบบปฏิบัติการ ดังนั้นระบบปฏิบัติการในทุกซีพียูจะทำงานในลักษณะกระบวนการที่ร่วมมือกัน กระบวนการเหล่านี้จะติดต่อโดยการแลกเปลี่ยนข้อความ (exchange messages) ผ่านระบบข้อความ (message system) ระบบเหล่านี้ประกอบด้วยกระบวนคำสั่งซึ่งมีเอกสิทธิ์และตัวจัดกระทำการเกิดจังหวะผ่านบัสซึ่งอยู่ในคลังโปรแกรมของระบบ หน้าที่ระบบข้อความจะถูกเรียกใช้โดยตรงโดยกระบวนระบบไม่ใช่กระบวนการที่ผู้ใช้เขียนขึ้น

4. <u>การจัดการกระบวนการ</u> จะกล่าวโดยละเอียดภายหลังในหัวข้อ 2.6

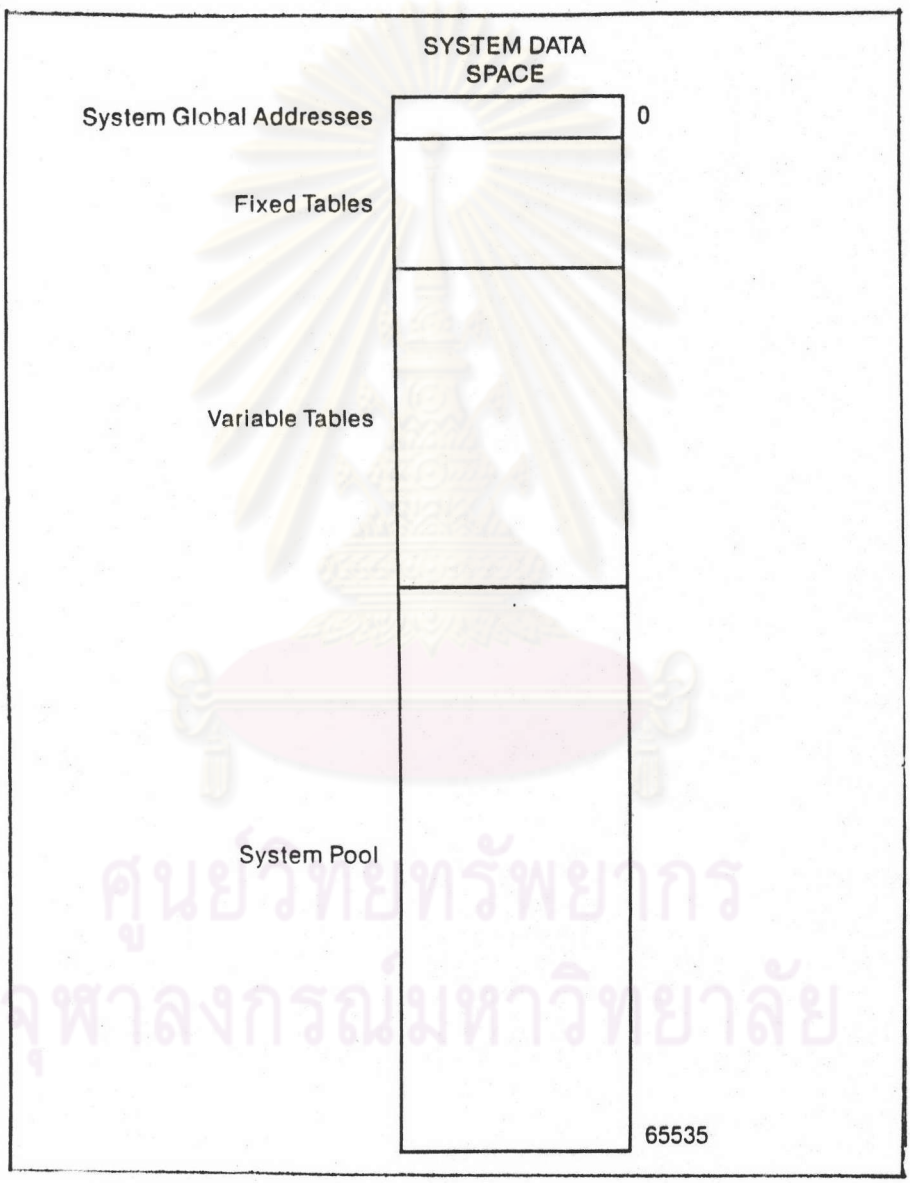


รูปที่ 2.13 การถ่ายโอนข้อความภายในซีพียู

2.3.2.4 โครงสร้างข้อมูลระบบ (System Data Structure)

หลายส่วนของเซกเมนต์ของหน่วยความจำ (ขนาด 64 กิโลเวิร์ดของแต่ละ

เซกเมนต์) จะถูกจองเพื่อบรรจุโครงสร้างข้อมูลหลายส่วน ส่วนใหญ่ใจกลางและกระบวนการระบบเป็นตัวเรียกใช้ หนึ่งในเซกเมนต์เหล่านี้ คือ เซกเมนต์ข้อมูลของระบบดังรูปที่ 2.14 เซกเมนต์เหล่านี้จะถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ เลขที่อยู่ส่วนกลาง (Global Address) ตารางความยาวคงที่ (Fixed-length Tables) ตารางความยาวแปรเปลี่ยน และ พูลระบบ



รูปที่ 2.14 โครงสร้างข้อมูลระบบ

ส่วนเลขที่ส่วนกลาง คือ เลขที่อยู่ของตัวชี้ (pointer) ที่ชี้ไปยังเซกเมนต์ข้อมูลระบบและชี้ไปยังตารางระบบในหน่วยความจำเพิ่มเติม (extended memory)ทำให้รหัสจุลภาคและซอฟต์แวร์อ้างอิงถึงตารางระบบได้

ตารางความยาวคงที่ จะมีตารางควบคุมรับเข้า-ส่งออก หรือไอโอซี (Input-Output Control Tabel or IOC) ตารางการรับผ่านบัส หรือ บีอาร์ที (Bus Recieve or BRT Table) เวคเตอร์การขัดจังหวะระบบหรือเอสไอวี (System Interrupt Vector or SIV) ตารางช่องทางย่อยหรือเอสซีที (Subchannel or SCT table) และกองซ้อนของการขัดจังหวะ (interrupt stacks)

ตารางความยาวแปรเปลี่ยน (variable-length tables)จะมีตารางตัวควบคุมหรือซีทีแอล (Controller or CTL Table) บล็อกควบคุมการเชื่อมโยงหรือแอลซีบี(Link Control Block or LCB) ตารางควบคุมกระบวนการหรือพีซีบี(Process Control Block or PCB)

พูลระบบ ใช้โดยระบบปฏิบัติการในการจองพื้นที่เป็นพูลหลายพูลภายหลังพื้นที่ถูกคืนให้ระบบเรียบร้อยแล้ว

เซกเมนต์ข้อมูลระบบจะอยู่ในหน่วยความจำของซีพียูตลอดเวลา ตารางอื่นซึ่งใจกลางเป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่า จะเก็บอยู่ในส่วนขยายเซกเมนต์ข้อมูลระบบ (extended system data segments) และปกติก็อยู่ในหน่วยความจำเช่นกัน แม้ว่าพื้นที่ที่ไม่ใช้ในบางกรณีก็อาจไม่อยู่ในหน่วยความจำ ตารางซึ่งอยู่ในส่วนขยายเซกเมนต์ข้อมูลระบบจะมีบล็อกส่วนขยายควบคุมกระบวนการหรือพีซีบีเอ็กซ์(Process Control Block Extension or PCBX) ตารางควบคุมที่หมายหรือดีซีที (Destination Control or DCT table) ตารางชี้เส้นทางเครือข่ายหรือเอ็นอาร์ที (Network Routing or NRT table)

2.4 <u>ระบบข้อความ</u>[*] <u>(Message System)</u>

มาตรฐานการถ่ายโอนข้อความจะเป็นลักษณะดังนี้

ผู้ร้องขอ (requester) จะค้นหาหมายเลขของผู้ที่ต้องการโทรศัพท์ไปและเก็บหมายเลขนั้นในหน่วยความจำของชุดโทรศัพท์นั้น ต่อมาผู้ร้องขอจะหมุนหมายเลขโทรศัพท์ไปหาผู้รับและ

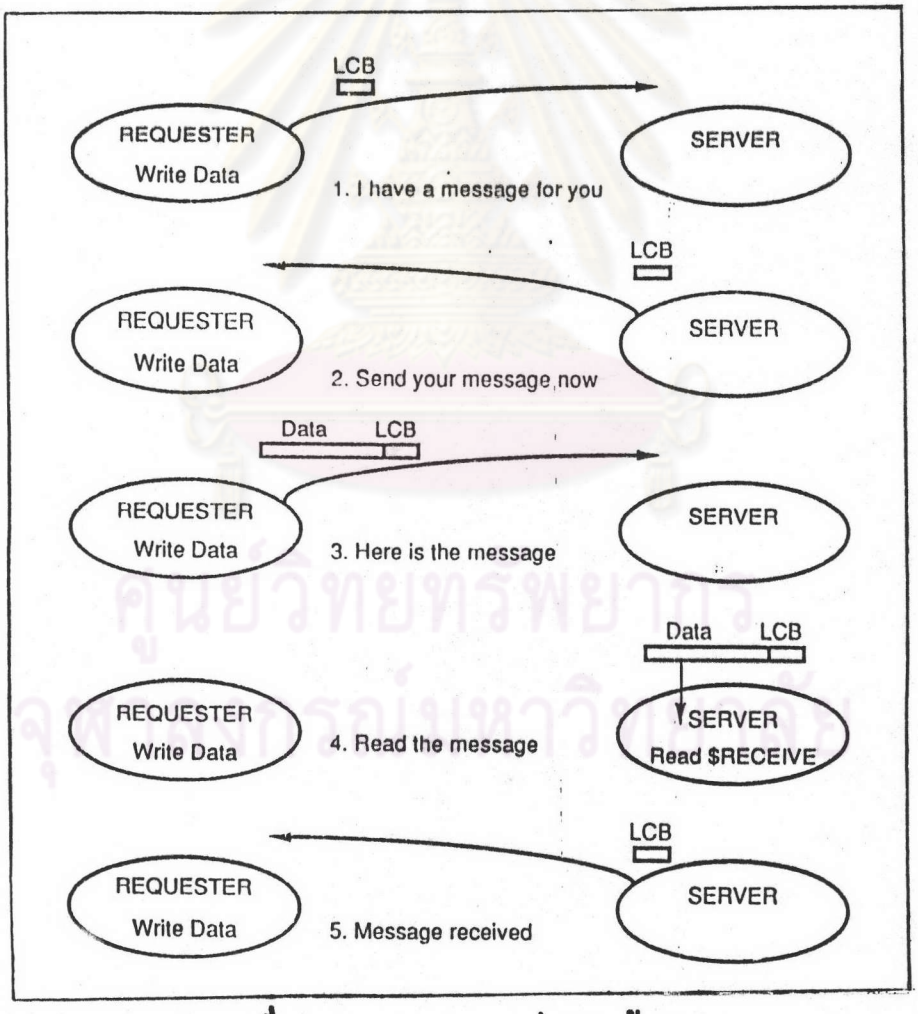
---

[*]Tandem Computer, <u>Performance Analysis and Tuning</u> (1989)

รอคำตอบ ตัวสวิทช์โทรศัพท์จะสวิทช์ไปยังเส้นทางที่เรียกไปยังตัวบริการ การสนทนาระหว่างผู้ร้องขอและผู้รับจะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้จนกว่าผู้รับไม่ได้ยินเสียงโทรศัพท์ และยกหูโทรศัพท์ ผู้รับอาจได้รับการเรียกหลายครั้ง แต่ผู้เรียกเหล่านั้นจะต้องอยู่ในแถวคอยจนกว่าผู้เรียกจะได้รับคำตอบ

จากระบบดังกล่าวเมื่อเทียบกับระบบปฏิบัติการจะได้ว่า ตัวสวิทช์โทรศัพท์จะประกอบด้วย

1. คลังโปรแกรมของระบบ ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ กระบวนคำสั่งแฟ้มข้อมูล (File system procedures) กระบวนคำสั่งระบบข้อความ (message system procedures) ตัวจัดกระทำการเลือกจ่ายงานขัดจังหวะ (Dispatch interrupt handler) และ ตัวจัดกระทำการขัดจังหวะการรับข้อมูลทางบัส



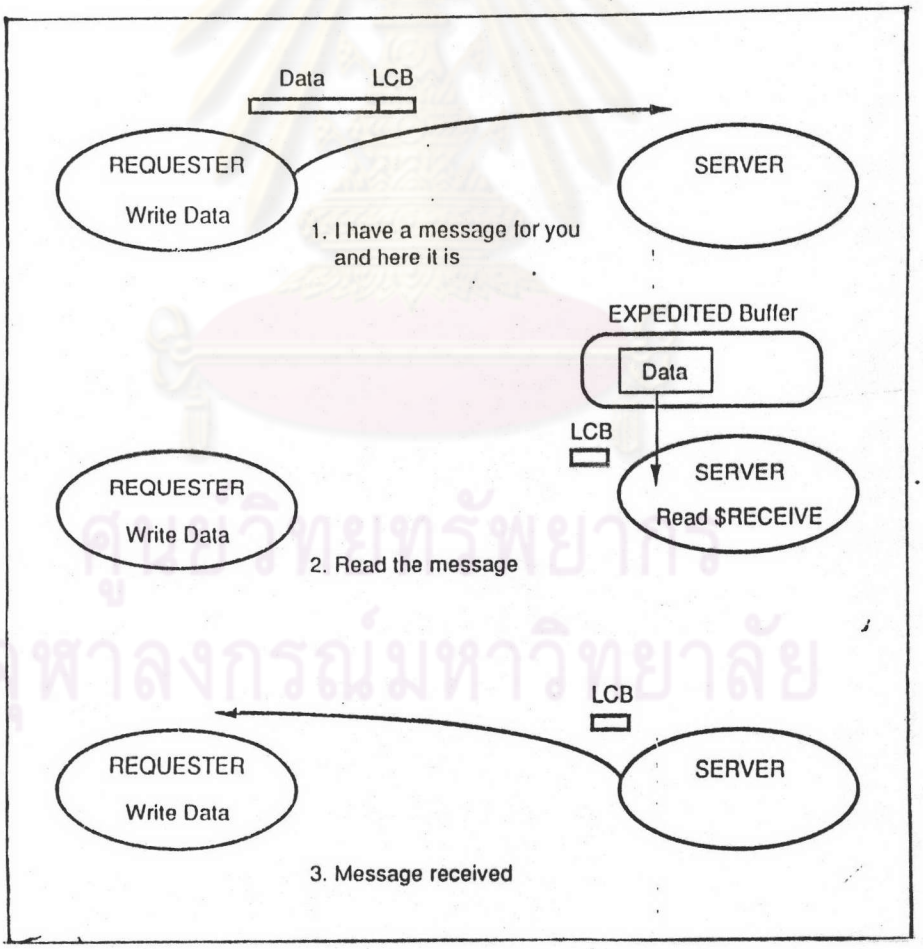
รูปที่ 2.15 มาตรฐานการถ่ายโอนข้อความ

2. โครงสร้างระบบ ซึ่งมีองค์ประกอบคือ

2.1. พื้นที่ข้อมูลระบบหรือเอสดี (System data space or SD) อันเกี่ยวเนื่องกับบล็อกควบคุมกระบวนการ และบล็อกควบคุมการเชื่อมโยง

2.2. ข้อความส่วนขยาย (Extended Message) มี แอลซีบี ส่วนขยาย (Extended LCB)

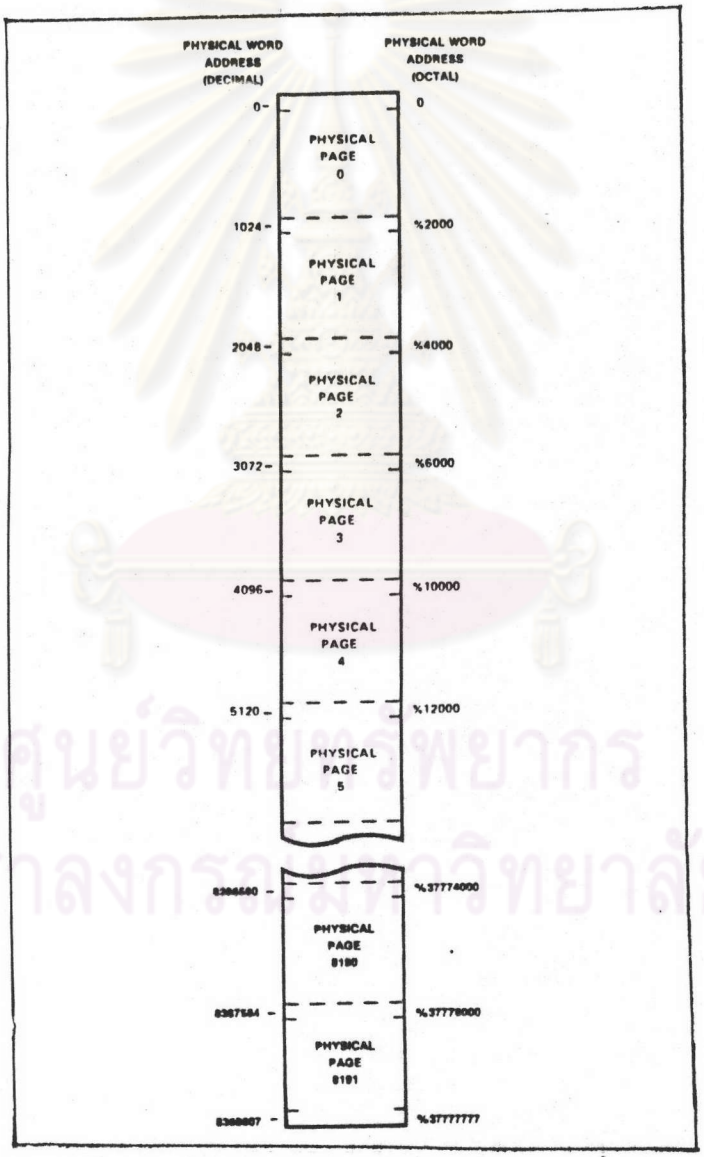
ข้อความจะอยู่ในแถวคอยของข้อความรับเข้า โดยเรียงตามลำดับบุริมภาพ (priority) ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจมาตรฐานการถ่ายโอนข้อความได้ดังรูป 2.15 แต่ในระบบโทรศัพท์สมัยใหม่จะเริ่มมีกลไกที่จะไม่ต้องให้ผู้เรียกรอผู้รับตอบ นั่นคือผู้รับสามารถบันทึกข้อความในแถบแม่เหล็กได้ ส่งผลให้ผู้รับสามารถรับข้อความที่บันทึกขณะที่มีผู้รอเข้าคิวอยู่ได้ ซึ่งในระบบคอมพิวเตอร์แถบบันทึก ก็คือ บัฟเฟอร์นั่นเอง ดูรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ในการก่อกำเนิดระบบได้ โดยปกติกำหนดไว้ 20 หน้า (1 หน้ามีขนาด 2048 ไบต์) โดยขนาดของแต่ละข้อความกำหนดเป็น 1536 ไบต์



รูปที่ 2.16 การถ่ายโอนข้อความที่มีบัฟเฟอร์

2.5 การจัดการหน่วยความจำ (Memory Management)

หน่วยความจำกายภาพ (Physical memory) คือหน่วยเก็บความจำโดยเป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งจัดเตรียมโดยแต่ละบอร์ดของแต่ละตัวประมวลผล ตัวอย่างเช่นหน่วยความจำกายภาพที่มากสุดของตัวประมวลผลชนิด ทีเอ็กซ์ทู คือ 8,388,608 เวิร์ด ของ 16 บิต (8 เมกะเวิร์ด หรือ 16 เมกะไบต์) หน่วยความจำกายภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกที่ต่อเนื่อง(contiguous blocks) ที่เรียกว่า หน้าเชิงกายภาพ (physical page)โดยที่ 1 หน้า คือ 1024 เวิร์ด หรือ 2048 ไบต์ ดังนั้นเลขที่อยู่ของหน่วยความจำกายภาพที่มากสุด คือ 8192 หน้า สำหรับตัวประมวลผลชนิด ทีเอ็กซ์ทูตามรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หน่วยความจำเชิงกายภาพและเลขที่อยู่

หน้าในหน่วยความจำกายภาพ คือ ตัวเลขที่เรียงลำดับจากหน้า 0 ถึง 8191 บนตัวประมวลผลซินิคนอนสต็อป ทู และ นอนสต็อป ทีเอ็กซ์พี เวิร์ดในหน่วยความจำกายภาพคือตัวเลข 0 ถึง 8,388,607 และเป็นเลขที่อยู่เชิงกายภาพขนาด 23 บิต

เป็นที่สังเกตว่าเลขที่อยู่เชิงกายภาพไม่ได้ระบุเป็นไบต์ การอ้างอิงหน่วยความจำถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมหน่วยความจำหรือเอ็มซียู (Memory Control Unit or MCU) ซึ่งไม่สามารถกำหนดเลขที่อยู่เป็นไบต์ได้ จะสามารถกำหนดเลขที่อยู่เป็นเวิร์ดเต็ม (full words) การกำหนดไบต์ภายใต้หน่วยความจำถูกทำโดยไดซียู

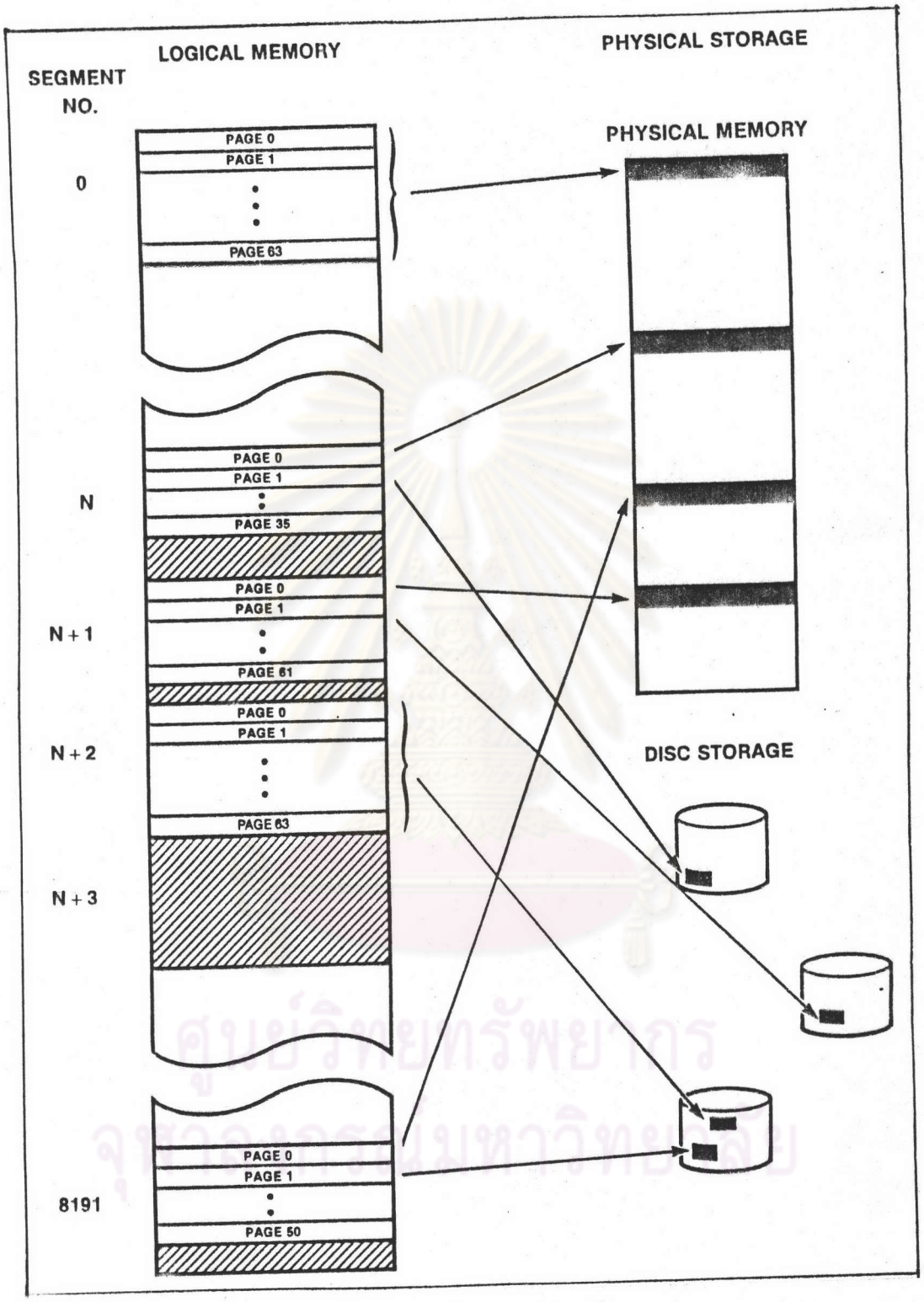
ในตัวประมวลผลซินิคนอนสตอป ทู หน่วยความจำเชิงกายภาพจะถูกเข้าถึงโดยหน้าเชิงตรรกะ (page logical) ซึ่งแปลงส่ง (map)ในเซกเมนต์ 0 ถึง 14 หรือ ในเลขที่อยู่ส่วนขยายของแคช แผนที่ (maps) จะทำหน้าที่แปลงส่งเลขที่หน้าเชิงตรรกะ (logical page numbers) ไปยังเลขที่หน้าเชิงกายภาพ จะไม่มีการใช้แคชของข้อมูลหรือคำสั่ง

แต่ในตัวประมวลผลซินิคทีเอ็กซ์พี หน่วยความจำเชิงกายภาพจะถูกเข้าถึงโดยหน้าเชิงตรรกะ ซึ่งแปลงส่งในตารางหน้าของแคชหรือพีแคช (page table cache or PCACHE) พีแคชจะแปลงส่งเลขที่หน้าเชิงตรรกะไปเป็นเลขที่หน้าเชิงกายภาพ ถ้าข้อมูลที่ต้องการอยู่ในแคชจะไม่มีความจำเป็นที่จะผ่านกระบวนการในการแปลงเลขที่อยู่เชิงตรรกะเป็นเลขที่อยู่เชิงกายภาพและเข้าถึงหน่วยความจำเชิงกายภาพ

หน่วยความจำเสมือน (Virtual memory) ใช้เนื้อที่จานแม่เหล็กเพื่อขยายหน่วยความจำที่จะเข้าถึงในหน่วยความจำเชิงกายภาพ ในสภาพการทำงานแบบหลายโปรแกรมเนื้อที่หน่วยความจำทั้งหมดจำเป็นสำหรับทุกกระบวนการ และระบบปฏิบัติการที่เรียกใช้หน่วยความจำเชิงกายภาพ อย่างไรก็ตามในบางครั้งจะมีชุดที่ต้องการการปฏิบัติการที่ต่อเนื่อง ภาพลักษณ์ (image)ของหน่วยความจำจะอยู่ในจานแม่เหล็ก และมีการปรับปรุงและนำไปใช้ยังหน่วยความจำเชิงกายภาพเสมือนมีการกระทำงานของกระบวนการ

ภาพลักษณ์ของจานแม่เหล็กอาจเป็นรหัสหรือข้อมูล ภาพลักษณ์ของข้อมูลอาจจะยังไม่เป็นที่ต้องการสำหรับการทำงานของโปรแกรม ซึ่งอาจถูกสับค่าออก (swapped out) คือ กลับไปสู่จานแม่เหล็กเพื่อที่หน่วยความจำเชิงกายภาพจะสามารถใช้งานได้โดยกระบวนการอื่น เนื่องจากภาพลักษณ์ของรหัสไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น จึงไม่มีความจำเป็นที่จะนำชุดของรหัสไปยังจานแม่เหล็กก่อน เพื่อให้มีเนื้อที่หน่วยความจำเชิงกายภาพเพิ่มขึ้นเหมือนเช่นภาพลักษณ์ของข้อมูล

หน่วยความจำเสมือนสำหรับตัวประมวลผล คือ ผลรวมของภาพลักษณ์ของรหัสและข้อมูล ซึ่งสามารถนำไปยังหน่วยความจำหลัก เพื่อจัดเตรียมการกำหนดเลขที่อยู่ในหน่วยความจำเสมือนทั้งหมด หน่วยความจำเสมือนของตัวประมวลผลจะแบ่งเป็น 8192 บล็อกแล้ว เรียกว่า เซกเมนต์ หรือเซกเมนต์สัมบูรณ์ (absolute segment)



รูปที่ 2.18 หน่วยความจำเสมือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เซกเมนต์แต่ละเซกเมนต์สามารถจะจัดสรร (allocate) หรือ ไม่จัดสรร (Unallocate)โดยเซกเมนต์ที่จัดสรรจะมีน้อยกว่า 64 หน้า ที่ถูกใช้งาน กรณีนี้เลขที่อยู่ของเซกเมนต์ทั้งหมดจะถูกจองไว้ นั่นคือ กระบวนการอื่นไม่สามารถใช้เลขที่อยู่ภายใต้เซกเมนต์นี้ แต่กระบวนการซึ่งเป็นเจ้าของเซกเมนต์สามารถใช้หน้าในหน่วยความจำเท่าที่ต้องการ และจะมีเพียงหน้าของเซกเมนต์ถูกนำไปยังหน่วยความจำหลักเพียงเท่าที่ต้องการ ไม่ได้นำไปทั้งเซกเมนต์ตามรูป 2.18

กระบวนการเอกสิทธิ์ (privileged process) สามารถมองเห็นและเข้าถึงหน่วยความจำเสมือนทั้งหมดโดยการใช้เลขที่อยู่สัมบูรณ์ขนาด 32 บิต

หน่วยความจำเชิงตรรกะ (Logical memory) คือ หน่วยความจำขณะที่กระบวนการมองอยู่ โดยทั่วไป กระบวนการจะมองเห็นเฉพาะชุดย่อยของหน่วยความจำเสมือน ซึ่งประกอบด้วยรหัสและข้อมูลซึ่งเป็นเจ้าของหรือใช้ร่วมกับผู้อื่น โดยปกติจะไม่สนใจว่าเลขที่อยู่นั้นจะอยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพหรือไม่อยู่ ซึ่งอาจอยู่ในจานแม่เหล็ก โดยที่ระบบปฏิบัติการจะดูแลนำเอาหน้าที่ไม่อยู่ (absent pages)เท่าที่ต้องการ

<u>การเข้าถึงหน่วยความจำ (Memory Access)</u>

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงการเข้าถึงหน่วยความจำของชนิดของตัวประมวลผล ข้อมูลนี้จำเป็นสำหรับผู้วิเคราะห์ระบบมาก เพื่อเป็นข้อมูลในการวางระบบ หรือ ผู้วิเคราะห์สมรรถนะเพื่อใช้ในการประเมินและปรับปรุงสมรรถนะ

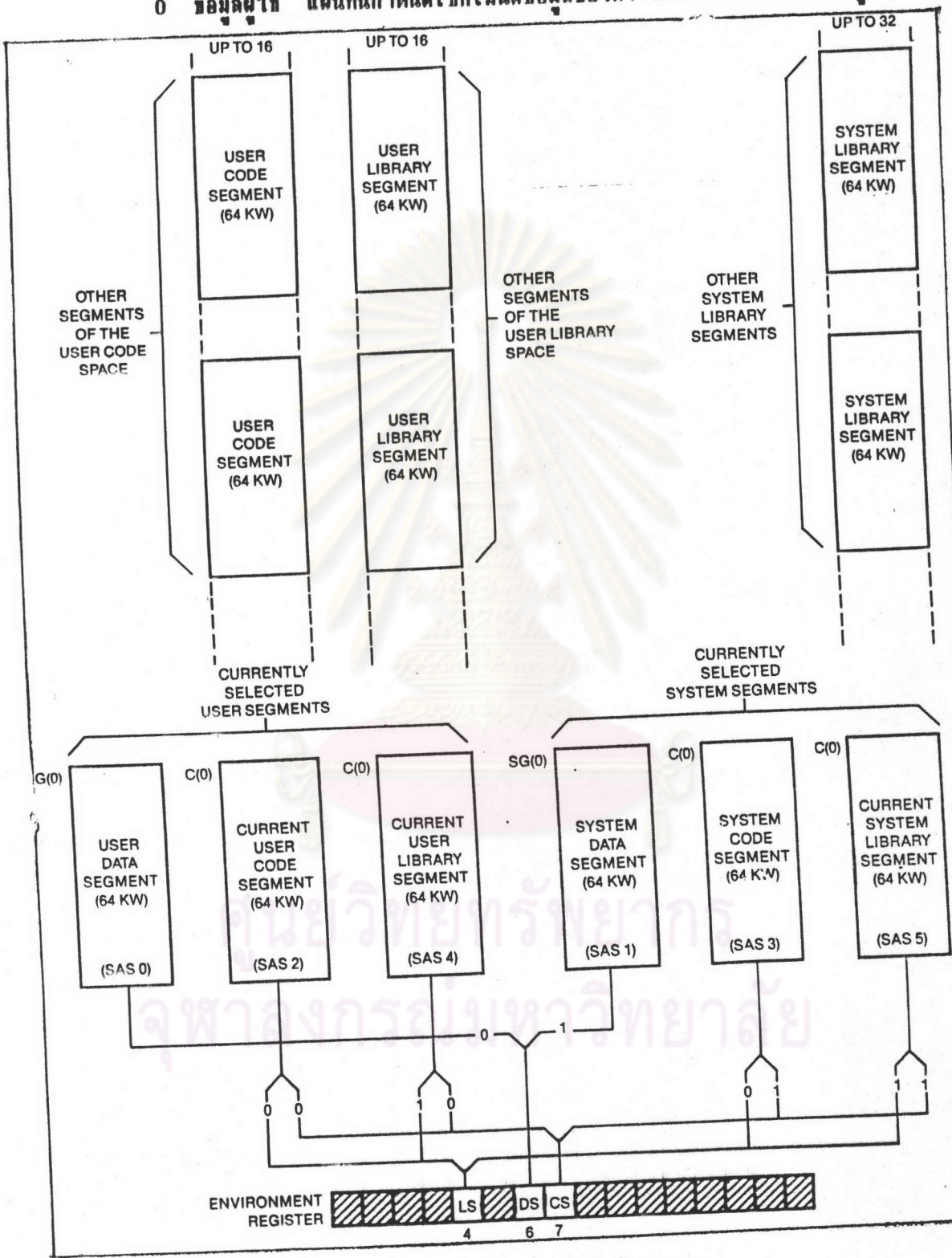
<u>แผนที่ (Maps)</u>

ซีพียูจะเปลี่ยนรูปเลขที่อยู่เชิงตรรกะขนาด 16 บิต และ 32 บิต ซึ่งเป็นเลขที่อยู่สัมบูรณ์ไปเป็นเลขที่อยู่กายภาพขนาด 23 บิต โดยการแปลงส่ง (Mapping) ซึ่งคือกรรมวิธีที่ใช้รีจิสเตอร์ในการแปลงส่งในซีพียู แต่ละตัวประมวลผลมี 16 แผนที่ แต่ละแผนที่ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 64 ตัว

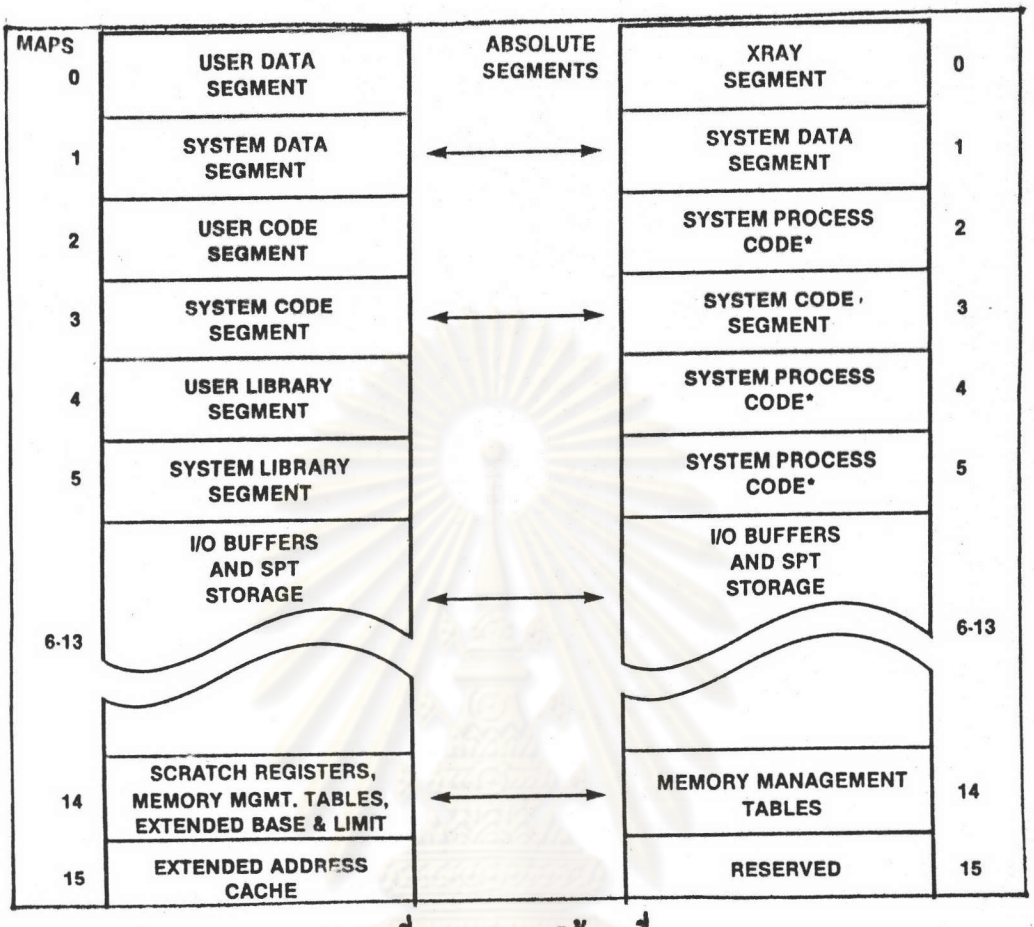
แผนที่ที่ 0 ถึง แผนที่ที่ 5 จัดเตรียมเพื่อการแปลงเลขที่อยู่ (address translation) สำหรับเลขที่อยู่ขนาดสั้น ซึ่งเข้าถึงไปยังกระบวนการที่กำลังทำงานอยู่ แต่ละแผนที่สามารถแปลงส่งเซกเมนต์เชิงตรรกะ (logical segment) ซึ่งมีขนาด 64 หน้า แต่ละรีจิสเตอร์ประกอบด้วยเลขที่อยู่เริ่มต้นในหน่วยความจำเชิงกายภาพของ 1 หน้าของเซกเมนต์ แผนที่ที่เหลือ 10 แผนที่จะกำหนดเกี่ยวกับเซกเมนต์อื่น ซึ่งไม่ได้เข้าถึงกระบวนการส่วนใหญ่แต่ใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น

รูปที่ 2.20 แสดงถึง การใช้แผนที่ทั้ง 16 แผนที่ และเปรียบเทียบกับการใช้เซกเมนต์สัมบูรณ์ 16 เซกเมนต์แรก การใช้แผนที่เป็นดังนี้

0 ข้อมูลผู้ใช้ แผนที่นี้กำหนดเซกเมนต์ข้อมูลของกระบวนการที่กระทำการอยู่ นั่นคือ



รูปที่ 2.19 หน่วยความจำเชิงตรรกะ



รูปที่ 2.20 การใช้แผนที่

มันจะแปลงส่งตำแหน่งกายภาพ (physical location) ของแต่ละหน้าของเซกเมนต์ที่ถูกกำหนดเป็นข้อมูลของกระบวนการที่ทำงานอยู่

1. ข้อมูลระบบ (System data) แผนที่นี้กำหนดเซกเมนต์ซึ่งประกอบด้วยตารางระบบ และทำเป็นชั้นซ้อนสำหรับตัวจัดกระทำการขัดจังหวะ พื้นที่กำหนดนี้โดยแผนที่นี้จะใช้ร่วมกันระหว่างกระบวนการทั้งหมด

2. รหัสผู้ใช้ แผนที่นี้กำหนดเซกเมนต์รหัสที่เป็นอยู่ของกระบวนการที่กำลังทำงานอยู่

3. รหัสระบบ (system code) แผนที่นี้กำหนดเซกเมนต์รหัส สำหรับรหัสของระบบปฏิบัติการ (ตัวจัดกระทำการขัดจังหวะ และกระบวนคำสั่งระบบที่ใช้บ่อย) พื้นที่ส่วนนี้จะร่วมกันใช้ระหว่างกระบวนการทั้งหมด

4 คลังผู้ใช้ (User Library) แผนที่นี้กำหนดเซกเมนต์คลังผู้ใช้สำหรับกระบวนการที่กำลังทำงานทั้งหมด

5 คลังระบบ (System Library) แผนที่นี้ทั้งหมดมีเซกเมนต์เพิ่มเติม 32 เซกเมนต์สำหรับรหัสของระบบปฏิบัติการ

6-13 บัฟเฟอร์รับเข้าส่งออกและตารางหน้าเซกเมนต์ (Segment Page table) บัฟเฟอร์สำหรับการถ่ายโอนรับเข้าส่งออกและตารางหน้าเซกเมนต์ ปกติเก็บในเซกเมนต์ ซึ่งกำหนดโดยแผนที่นี้

14 พื้นที่เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ แผนที่นี้ไม่ได้ใช้แปลงส่งเซกเมนต์อื่น แต่จองไว้โดยระบบเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ

15 เลขที่อยู่แคชเพิ่มเติม แผนที่นี้ไม่ได้ใช้เพื่อแปลงส่งเซกเมนต์ใดๆ แต่ใช้เพื่อเลขที่อยู่แคชเพิ่มเติม (extended address cache)

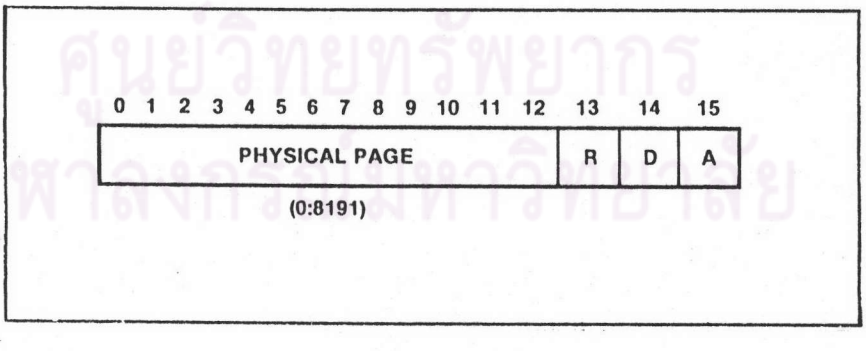
<u>จุดรับเข้าแผนที่และการแปลงส่ง (Map Entries and Mapping)</u>

ตามที่ได้กล่าวแล้วแต่ละแผนที่มี 64 รีจิสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการแปลงส่ง แต่ละรีจิสเตอร์แผนที่ในแผนที่ 0 ถึง 13 ประกอบด้วยจุดรับเข้าส่งออกแผนที่ ซึ่งจุดรับเข้าส่งออกแผนที่ใช้เพื่อแปลงผัน (Convert) เลขที่อยู่เชิงตรรกะไปเป็นเลขที่อยู่เชิงกายภาพ

ในกรณีของการกำหนดเลขที่อยู่ 16 บิตหรือการกำหนดเลขที่อยู่แบบสัมพัทธ์ในเซกเมนต์ 0 ถึง 3 แผนที่ที่เลือกก่อน ปกติเป็นหนึ่งในแผนที่ 0 ถึง 5 แล้ว เลขที่หน้าเชิงตรรกะ(logical page number) จากเลขที่อยู่ 16 บิต หรือ 32 บิต เลขที่อยู่แบบสัมพัทธ์ถูกใช้เป็นดัชนีที่นำไปสู่แผนที่ที่เก็บระเบียนแผนที่

จากรูป 2.21 ซึ่งเป็นรูปแบบของจุดรับเข้าแผนที่ เนื่องจากแผนที่จะถูกบรรจุจากตารางหน้าเซกเมนต์ ซึ่งรูปแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้กับระเบียนในตารางหน้าเซกเมนต์ และในระเบียนแผนที่แคช

ถ้าบิตที่ 15 ไม่ได้กำหนดค่า บิตที่ 0 ถึง บิตที่ 12 ของจุดรับเข้าแผนที่ระบุถึงเลขที่

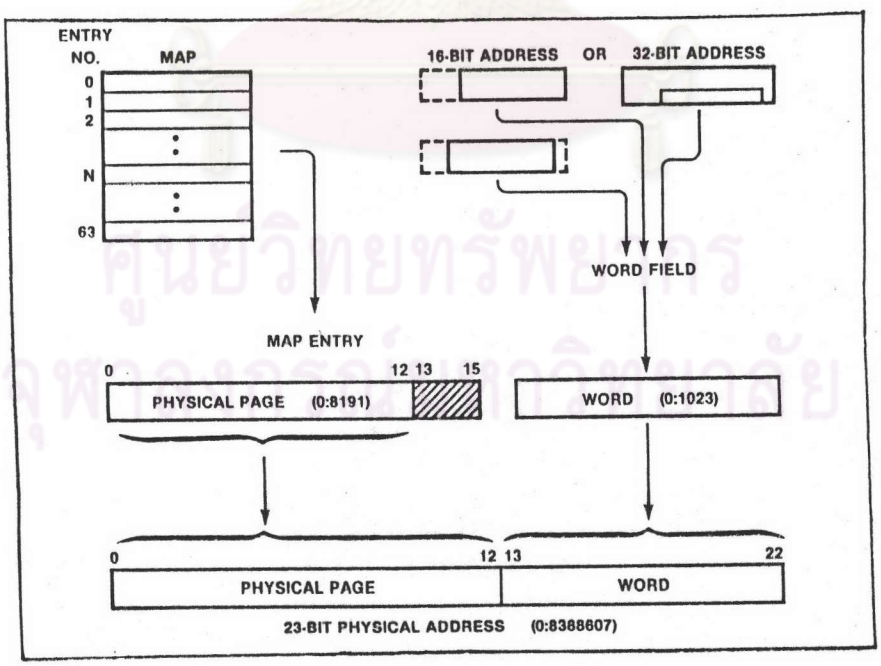


รูปที่ 2.21 ระเบียนแผนที่

หน้าเชิงกายภาพ (physical page number)ซึ่งมีค่า 0 - 8191 ของหน้าของหน่วยความจำ

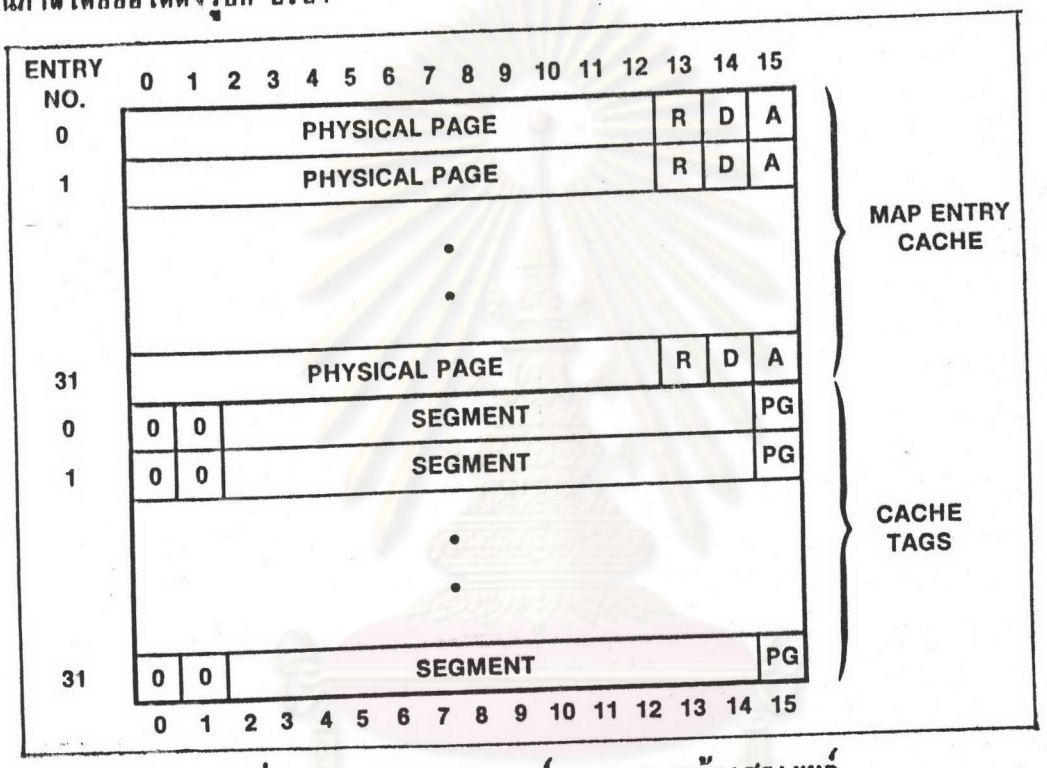
ที่ต้องการเข้าถึง (access) เมื่อไรก็ตามที่การอ้างอิงหน่วยความจำผ่านระเบียนนี้ (ถ้าบิตที่ 15 ถูกกำหนดค่า แสดงว่า หน้าที่ต้องการไม่อยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพ ทุกบิตอื่นทั้งหมดจะไม่มีการกำหนดไปยังฮาร์ดแวร์ แม้ว่าผู้จัดการหน่วยความจำ อาจจะใช้บิตเหล่านี้ก็ตาม) บิตที่ 13 คือ บิตอ้างอิง (Reference bit) ถูกกำหนดค่า เมื่อมีการเข้าถึงหน้านี้ บิตที่ 14 คือ บิตสกปรก (dirty bit) ถูกกำหนดค่า เมื่อมีการเข้าถึงแบบบันทึก (write access)ไปยังหน้า สองบิตนี้จะถูกผู้จัดการหน่วยความจำตรวจสอบ เพื่อจะทำการเลือกหน้าที่ดีที่สุดสำหรับซ้อนแทน (overlay)เมื่อมีหน้าที่ไม่อยู่ในหน่วยความจำ และต้องนำมาจากจานแม่เหล็กไปยังหน่วยความจำเชิงกายภาพ และจำไว้ว่าหน้าใดซึ่งถูกแทนที่จะต้องทำอีกชุดไปยังจานแม่เหล็กก่อน บิตที่ 15 คือ บิตไม่อยู่ (absent bit) ถ้าถูกกำหนดค่าเป็น 1 ระบุว่า หน้าที่อ้างอิงถึงไม่อยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพ ความพยายามที่จะเข้าถึงหน่วยความจำผ่านระเบียน ซึ่งกำหนดค่าบิตนี้เป็น 1 จะส่งผลให้เกิดการขัดจังหวะหน้าผิดพร่อง (Page fault interrupt) โดยอาจเกิดจากความพยายามเข้าถึงโดยคำสั่ง หรือการถ่ายโอนข้อมูลผิดพลาด กรณีที่ช่องทางรับเข้าส่งออกพยายามเข้าถึงหน้าดังกล่าว

เมื่อจุดรับเข้าแผนที่ (map entry) ถูกเลือก บิตที่ 15 ของระเบียน จะถูกตรวจสอบว่าหน้านี้อยู่หรือไม่ ถ้าไม่อยู่จะเกิดการขัดจังหวะส่งผลให้ผู้จัดกระทำการขัดจังหวะเข้าทำหน้าที่สลับหน้าจากจานแม่เหล็กเข้ามา แต่หากหน้าเชิงกายภาพยังอยู่ในหน่วยความจำ เขตข้อมูลหน้าเชิงกายภาพของระเบียนแผนที่จะถูกปรับค่าว่าเคยถูกเลือก ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การแปลงส่ง

ระบบการจัดการหน่วยความจำจะเป็นลักษณะเซกเมนต์ โดยมีตารางเซกเมนต์ (segment table) เป็นที่เก็บข้อมูลขนาดยาว 2 เวิร์ด สำหรับแต่ละเซกเมนต์สัมบูรณ์ของหน่วยความจำเสมือนของซีพียู แต่ละเซกเมนต์จะชี้ไปยังตารางหน้าเซกเมนต์ (Segment page table) และระบุว่าเซกเมนต์ใดถูกแปลงส่งไป (map) ตามรูป 2.23 หรือ สามารถเขียนแผนภาพโดยย่อได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 ตารางเซกเมนต์และตารางหน้าเซกเมนต์

กล่าวโดยสรุปจะได้ว่า ใน 1 ซีพียูมี 1-8192 เซกเมนต์

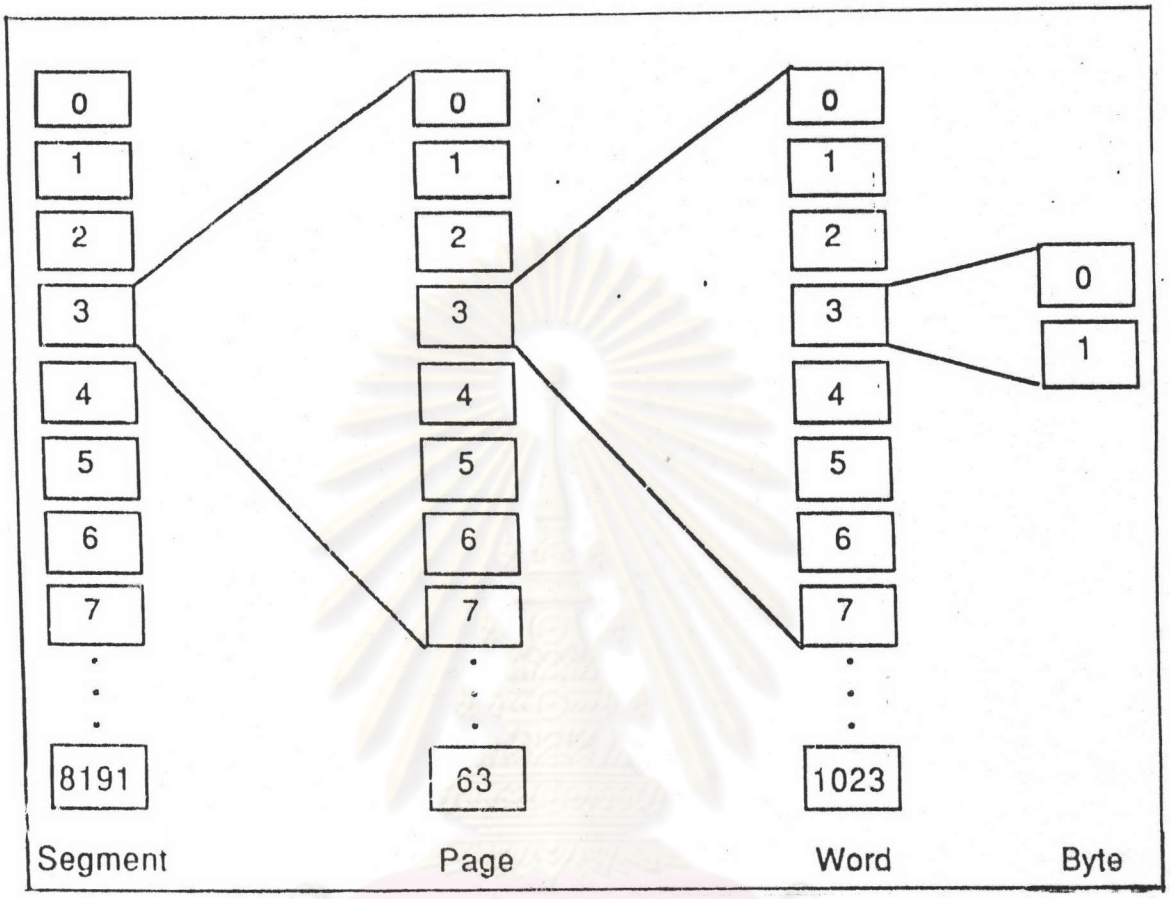
1 เซกเมนต์มี 1-64 หน้า

1 หน้า มี 1024 เวิร์ด

1 เวิร์ด มี 2 ไบต์

ดังนั้นหน่วยความจำเสมือนจะสามารถกำหนดเลขที่อยู่ได้ทั้งหมด

8192 * 64 * 1024 *2 = 1 กิกะไบต์



รูปที่ 2.24 แผนภาพการจัดการหน่วยความจำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวความคิดหน่วยความจำเสมือน (Virtual Memory Concept)

ทฤษฎี

ในช่วงระหว่างการประมวลผลปกติ กระบวนการจะไม่มีการอ้างอิงถึงเลขที่อยู่ทั้งหมดของหน่วยความจำได้ทั้งหมด ถ้ามีกรรมวิธีใดที่จะสามารถให้เนื้อที่กับกระบวนการพื้นที่เหล่านั้นจะเป็นที่ต้องการเสมอไป ถ้ามีการอ้างอิงถึงแล้วระบบจะไม่ต้องจัดเตรียมการเข้าถึงของทุกกระบวนการในหน่วยความจำเชิงตรรกะในทันที

เพื่อให้หลายกระบวนการสามารถร่วมกันใช้หน่วยความจำเชิงกายภาพที่แท้จริงของซีพียู ระบบควรจะเก็บพื้นที่ของหน่วยความจำเฉพาะที่มีการอ้างอิงถึงเท่านั้น แต่เพราะเลขที่อยู่หน่วย

ความจำของบางกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (dynamically changing) เช่น การใช้ชั้นซ้อนข้อมูล (data stack) เซกเมนต์ข้อมูลส่วนขยาย ระบบต้องเก็บเนื้อความของพื้นที่ซึ่งไม่อยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพไปยังแฟ้มข้อมูลบนจานแม่เหล็ก ซึ่งเรียกลักษณะนี้ว่า การสลับหน้าเสมือน (virtual paging) หรือ แฟ้มข้อมูลสับค่า (swap files)

เมื่อกระบวนการอ้างถึงตำแหน่งในหน่วยความจำเชิงตรรกะ ซึ่งไม่อยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพ บางกลไกจะทำให้พื้นที่ที่อ้างถึงถูกอ่านไปยังหน่วยความจำเชิงกายภาพ กลไกดังกล่าวคือ หน้าที่หนึ่งของกระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำ

การจองหน้า (Page Allocation)

เป้าหมายของระบบหน่วยความจำเสมือน คือ การใช้ประโยชน์ของหน่วยความจำเชิงกายภาพที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ในทางทฤษฎีทุก ๆ หน้าเชิงกายภาพ จะถูกใช้งานในเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นหน้าที่ของการเลือกหน้าอาจจะกระทำการเสมือนการขโมยหน้าเชิงกายภาพจากกระบวนการอื่น หน้าซึ่งไม่ถูกใช้งานจะมีกระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำเป็นเจ้าของ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการใช้ประโยชน์ของหน่วยความจำเชิงกายภาพอย่างเต็มที่ ระบบจะต้องเลือกหน้าที่คิดว่าจะถูกอ้างอิงน้อยที่สุดในอนาคต

เซกเมนต์เสมือน (Virtual segment) คือ หน้าเชิงกายภาพซึ่งไม่ปรากฏอยู่ในหน่วยความจำ แต่อยู่ในจานแม่เหล็กในแฟ้มข้อมูลสับค่า (swap file) หรือ แฟ้มข้อมูลจุดหมาย (Object file) (เช่นข้อมูลชั้นซ้อน (data stack) รหัสหน้า (code page)) ส่วนเซกเมนต์ที่อยู่ประจำ(resident segment)คือ หน้าเชิงกายภาพซึ่งไม่ปรากฏในหน่วยความจำและไม่ปรากฏในแฟ้มข้อมูลจานแม่เหล็ก (disk file) เช่นแคช

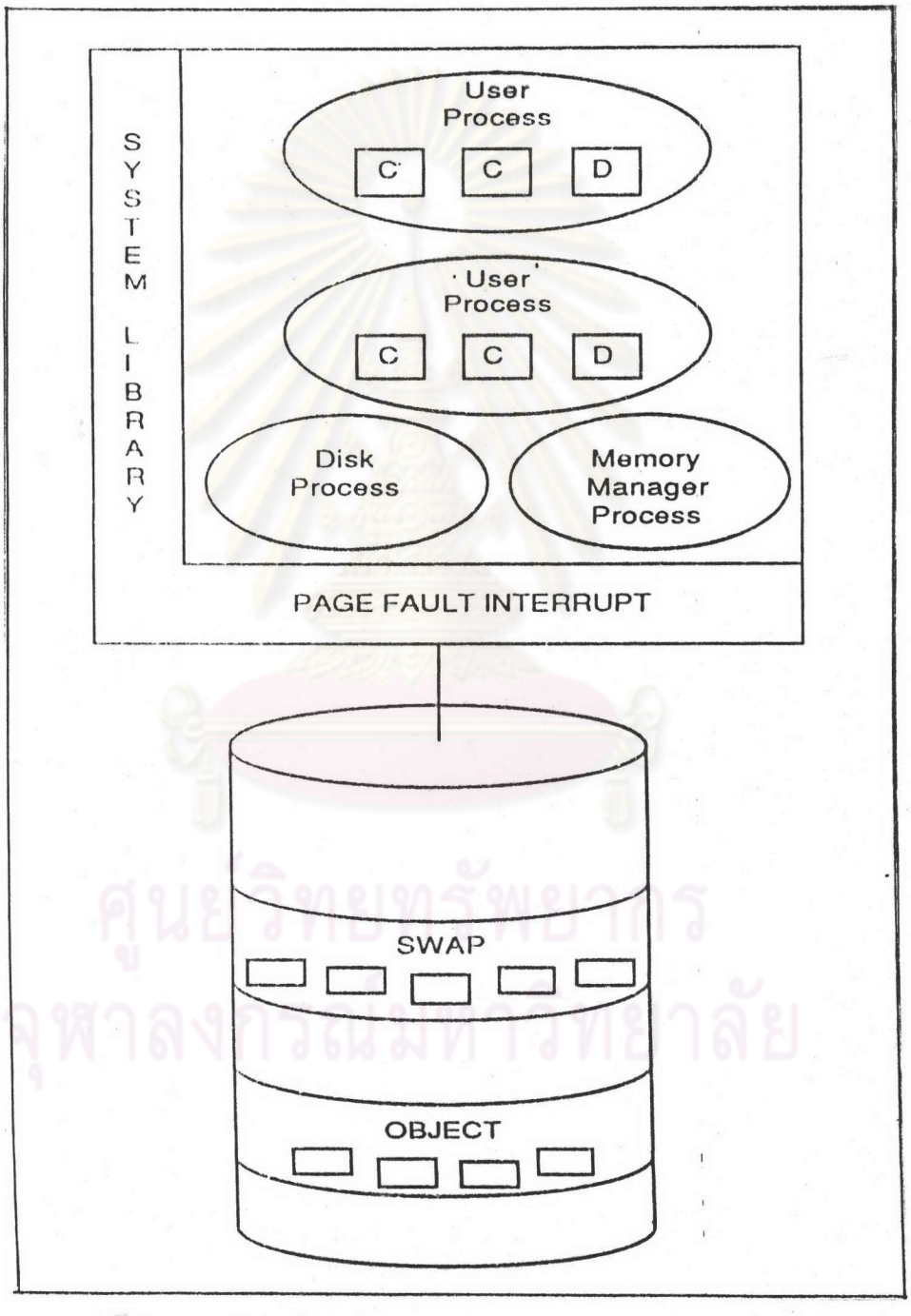
เมื่อไรก็ตามที่กระบวนการต้องจองหน่วยความจำ หน้าเชิงตรรกะจะถูกกันไว้ ซึ่งอาจไม่อยู่ในหน่วยความจำเชิงกายภาพ ถ้าเซกเมนต์เสมือนมีการกำหนดเลขที่อยู่ กระบวนคำสั่งจะจำลองความผิดพร่องของหน้า (page fault) ให้กระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำจัดการ แต่ถ้าเซกเมนต์ที่อยู่ประจำ เช่น แคช ถูกกำหนดเลขที่อยู่ กระบวนคำสั่งนี้จะส่งผลให้มีการเลือกหน้าเชิงกายภาพ

เมื่อกระบวนการอ้างอิงเลขที่อยู่เสมือน ซึ่งไม่มีอยู่ในหน่วยความจำ กระบวนการผู้จัดการหน่วยความจำจะเรียกกระบวนคำสั่ง ALLOCATEPAGE เพื่อเลือกหน้าเชิงกายภาพ

ความผิดพร่องของหน้า (Page Fault)

กระบวนการผู้ใช้จะทำให้เกิดการขัดจังหวะผิดพร่องของหน้า (page fault interrupt) ของรหัส หรือ ข้อมูล โดยการอ้างอิงหน้าซึ่งไม่ปรากฏอยู่ กระบวนการผู้จัดการ

หน่วยความจำ จึงจะมาทำหน้าที่ให้โดยการส่งสัญญาณของผู้จัดการการขัดจังหวะผิดพร่องของหน้า และกระบวนการจานแม่เหล็กจะถูกดึงเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่ออ่านแฟ้มข้อมูลโปรแกรม หรือแฟ้มสับค่า (swap file) หรืออาจต้องบันทึกไปยังแฟ้มสับค่าก่อน สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดโอเวอร์เฮด



รูปที่ 2.25 การผิดพร่องของหน้าและการสับค่า

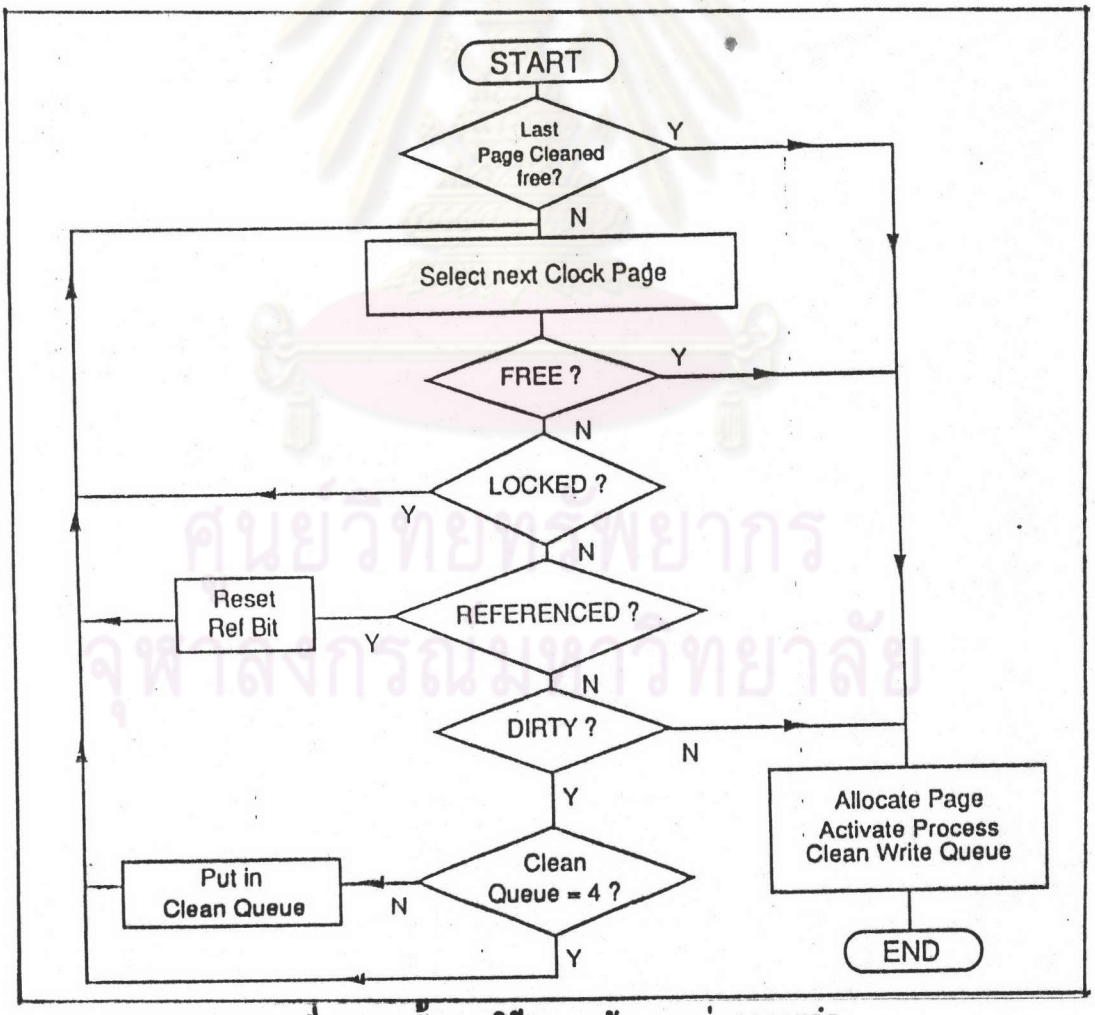
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Overhead) กับซีพียู และการกระทำไลโอบนจานแม่เหล็กเชิงกายภาพ แม้มสับค่าทั้งหมดถือว่าเป็นความผิดพร่องของหน้า แต่ความผิดพร่องของหน้าทั้งหมดไม่ใช่การสับค่า

การสับค่าหน้า (Page swaps)

เมื่อหน่วยความจำเชิงกายภาพถูกจองไว้หมดแล้วการขโมยหน้าที่ต้องการ หรือสับค่าทำให้เกิดการช่วงชิงหน่วยความจำเชิงกายภาพ ซึ่งยิ่งมีการช่วงชิง (contention) ของหน่วยความจำเชิงกายภาพ ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า แทรชชิ่ง(thrashing)ยิ่งมากขึ้น ผลงานของซีพียูจะน้อยมากเพราะเสียเวลากับการให้บริการความผิดพร่องของหน้า และ การสับค่าหน้า (page faults and swaps) จะเห็นได้จากรูปที่ 2.25

ขั้นตอนวิธีในการจัดการหน่วยความจำ เพื่อคัดเลือกหน้าที่ต้องการสามารถทำความเข้าใจจากรูปที่ 2.26 และ รูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนวิธีในการจัดการหน่วยความจำ

ขั้นตอนการคัดเลือกหน้าที่ต้องการเพื่อนำเข้าหน่วยความจำ

1. หน้าที่สะอาดหน้าสุดท้ายว่างหรือไม่ ถ้าว่างก็ทำการจองหน้าไว้ และ ส่งสัญญาณไปยังกระบวนการจัดการแถวคอยให้ทำงาน

2. กรณีที่หน้าไม่ว่างก็ทำการเลือกหน้าในรอบนาฬิกาถัดไป

3. ซึ่งถ้าหน้าว่างก็ทำการในขั้นตอนที่ 8

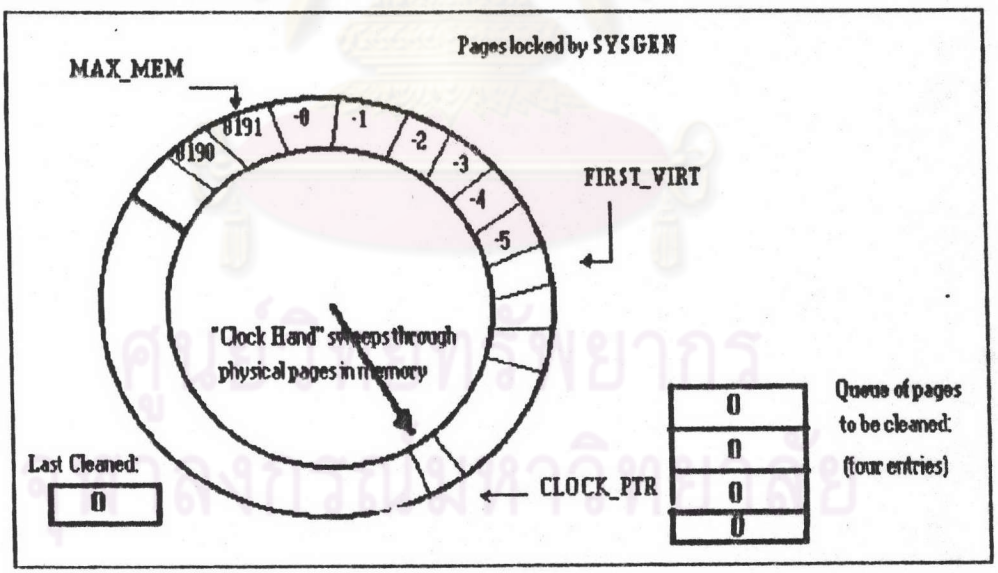
4. หากหน้าถัดไปไม่ว่างหน้านี้ถูกจองไว้หรือไม่ ถ้าถูกจองไว้ก็ไปทำข้อ 2 ถ้าไม่ถูกจองไว้ก็ตรวจสอบว่า

5. หน้านี้ถูกอ้างอิงหรือไม่ ถ้าถูกอ้างอิง ก็ทำการกำหนดค่าให้บิตอ้างอิงแล้วไปทำข้อ 2 หากไม่ถูกอ้างอิงก็

6. ตรวจสอบว่าเป็นหน้าสกปรกหรือไม่ ถ้าไม่เป็นก็ทำขั้นตอนที่ 8 ถ้าเป็นหน้าสกปรกก็

7. ตรวจสอบแถวคอยของหน้าสะอาดว่ามีค่า 4 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 4 ก็ไปทำข้อที่ 2 หากไม่เป็น 4 ก็นำหน้านี้ไปอยู่ในแถวคอยของหน้าสะอาดเพื่อทำงานต่อไป

8. ทำการจองหน้าและส่งสัญญาณปรับปรุงการบันทึกแถวคอยและจบการทำงาน



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนวิธีของผู้จัดการหน่วยความจำในรอบนาฬิกา

อย่างไรก็ตามโปรดสังเกตว่า หน้าที่ถูกขโมยจากกระบวนการที่กำลังทำงานอยู่มักจะเกิดกับกระบวนการที่ถูกสร้างขึ้นทำงานไม่บ่อยนัก แม้ว่าพื้นที่อื่นของหน่วยความจำเชิงกายภาพจะมีอยู่ก็ตาม เรียก กรณีนี้ว่าเกิดกระบวนการชั่วครู่ (transient process) ซึ่งคือกระบวนการที่เกิดในช่วงเวลาสั้น กระบวนการชั่วครู่นี้สามารถทำให้ระบบเกิดการสับค่ามากเกินไป กระบวนการชั่วครู่นี้สามารถทำให้เกิดการสับค่าออกโดยการดึงหน้าที่ถูกใช้ไม่บ่อยออกไป

2.6 สภาพแวดล้อมของกระบวนการ

ณ ขณะใดขณะหนึ่ง พีซียูปฏิบัติการหนึ่งในสองสภาพแวดล้อมดังนี้ คือ ไม่อยู่ในสภาพของกระบวนการ หรือสภาพของการขัดจังหวะ แต่สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวเฉพาะสภาพของกระบวนการ

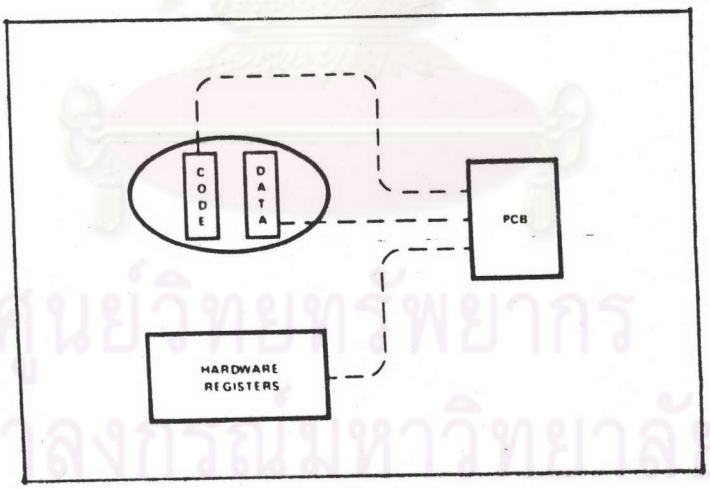
คำจำกัดความของกระบวนการ

ในระบบเครื่องเทนเด็ม กระบวนการจะเกิดขึ้นโดยใช้คำสั่ง รัน(RUN)หรือโดยการใช้โปรแกรมเรียกกระบวนคำสั่ง NEWPROCESS แต่ละกระบวนการประกอบด้วย

2.6.1. พื้นที่ของรหัสที่แก้ไขไม่ได้ ซึ่งเก็บคำสั่งต่างๆ

2.6.2. พื้นที่ของข้อมูลที่เป็นเอกเทศที่เรียกว่า สแตกหรือกองทับซ้อน (stack)

2.6.3. ตารางระบบที่เรียก พีซีบี ซึ่งกำหนดสถานะของกระบวนการในระบบ สำหรับ พีซีบีเล็กซ์ ประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ไม่บ่อย ซึ่งจะใช้พิจารณาในส่วนของตรรกะของพีซีบี



รูปที่ 2.28 องค์ประกอบของกระบวนการ

แต่ละครั้งที่ผู้ใช้ร้องขอให้โปรแกรมกระทำการ กระบวนการจะถูกสร้างขึ้น ดังนั้นถ้าผู้ใช้กระทำการให้กระบวนการทำงานแยกโปรแกรมกัน ระบบปฏิบัติการจะสร้างกระบวนการขึ้น 2 กระบวนการ สดดดล้องสัมพันธ์กัน และ ถ้าโปรแกรมทำงานชุดเดียวแต่ 2 ครั้ง หรือผู้ใช้ 2

ผู้ใช้ทำให้โปรแกรมเดียวกันทำงานพร้อมๆ กัน นั่นคือจะมี 2 กระบวนการถูกสร้างขึ้นมา และไม่มีกระบวนการไหนเป็นเจ้าของโปรแกรมรหัส แต่รหัสจะถูกใช้งานร่วมกันของกระบวนการต่าง ๆ ภายใต้ซีพียูเดียวกัน สำหรับข้อมูลจะเป็นเอกเทศของแต่ละกระบวนการ

กระบวนการถึง 256 กระบวนการ สามารถกระทำการพร้อมๆกันในแต่ละซีพียู แม้ว่ากระบวนการเหล่านี้จะใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น หน่วยความจำหลัก แต่จะมีเพียงกระบวนการเดียวกันเท่านั้นที่ถูกกระทำการ ณ เวลาหนึ่งเท่านั้น

กระบวนการจะกระทำการ (execute)จนกว่าจะเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งคือ

1. ต้องรอทรัพยากรหรือข้อความหรือการปฏิบัติการไอโอ หรือ
2. กระบวนการซึ่งมีบุริมภาพสูงกว่าจะอยู่ในสภาพพร้อมกระทำการ

ระบบปฏิบัติการการ์เดียนจะเก็บสถานะของกระบวนการ โดยเก็บเลขที่พื้นที่ของเซกเมนต์รหัสที่ใช้อยู่ และค่าของรีจิสเตอร์ P ENV L S และ R0-R7 เก็บไว้ที่พีซีบีของกระบวนการแล้วจะเลือกกระบวนการเพื่อกระทำการถ้าอันใดอยู่ในสภาพพร้อม สถานะของกระบวนการจะถูกนำจากพีซีบี และกระทำการต่อไปอย่างต่อเนื่องจากจุดซึ่งมีการกระทำการที่ผ่านมา

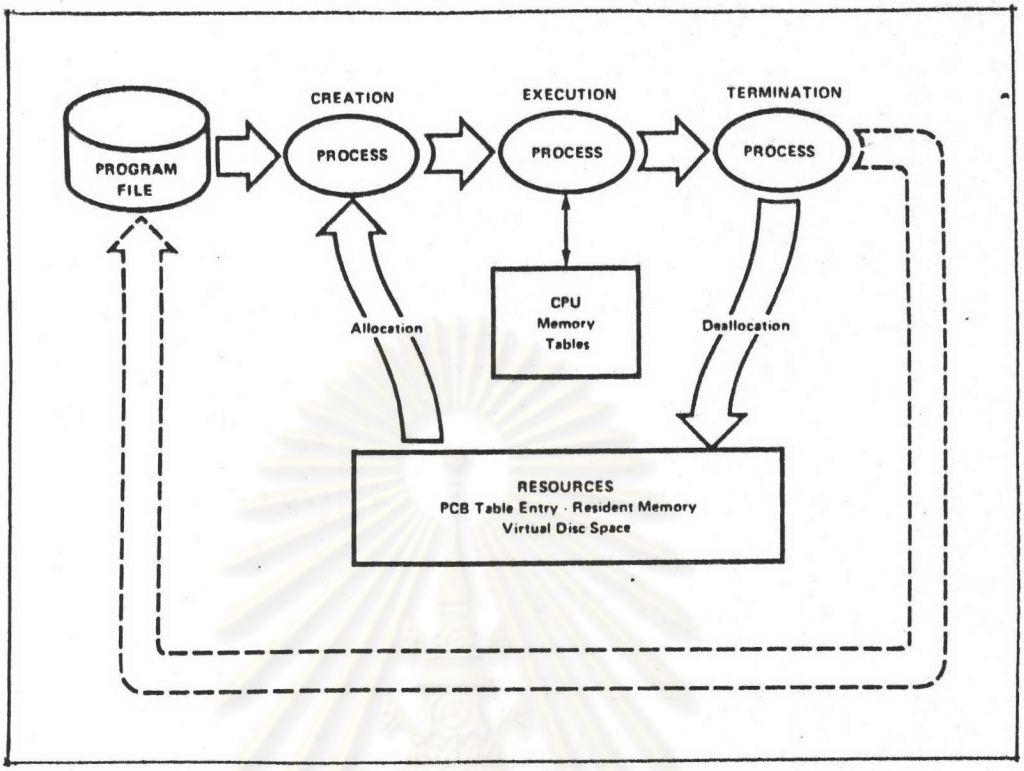
กระบวนการงานประยุกต์ คือ กระบวนการทุกกระบวนการ ซึ่งไม่ใช่กระบวนการระบบ จะเกิดขึ้นอยู่ชั่วคราวโดยขึ้นกับวงจรชีวิต (life cycle) ซึ่ง มีขั้นตอนดังนี้ สร้างกระบวนการ กระทำการ และหยุดกระบวนการ

กระบวนการระบบจะมีคุณลักษณะเชิงกายภาพของกระบวนการงานประยุกต์ แต่เป็นส่วนที่ถาวร (permanent) ของระบบ โดยจะกระทำการอย่างอัตโนมัติเมื่อมีการบรรจุซีพียู

<u>การสร้างกระบวนการระบบ</u>

กระบวนการระบบจะถูกสร้างแตกต่างจากกระบวนการงานประยุกต์เล็กน้อย กล่าวคือ กระบวนการระบบจะถูกสร้างจากการก่อกำเนิดระบบ (system generation) แต่ลักษณะการทำงานเหมือนกระบวนการผู้ใช้ โปรแกรมอรรถประโยชน์จะอ่านข้อมูลเกี่ยวกับโครงแบบใหม่และสร้างภาพลักษณ์ของระบบใหม่ แล้วเก็บข้อมูลนั้นลงในแฟ้มข้มูลชื่อ ภาพลักษณ์ระบบปฏิบัติการ (OSIMAGE)

ภายหลังการสร้างภาพลักษณ์ของระบบ โปรแกรมซิสเจนจะบันทึกภาพลักษณ์ลงในเทปที่เรียกว่า แถบภาพลักษณ์ระบบหรือซิสเต็มอิมเมจเทป ซึ่งประกอบด้วยภาพลักษณ์ระบบปฏิบัติการและแฟ้มข้อมูลอื่นๆ แถบนี้สามารถใช้ใน 2 ลักษณะที่แตกต่าง คือ



รูปที่ 2.29 การสร้างกระบวนการ ดำเนินการและการหยุดกระบวนการ

1. บนระบบใหม่ แถบจะถูกบรรจุไปยังจานแม่เหล็กของระบบ แถบประกอบด้วยโปรแกรมปลุกเครื่อง (bootstrap) ซึ่งเพียงแค่อ่านข้อมูลส่วนที่เหลือของแถบ และบันทึกไปยังจานแม่เหล็ก การกระทำเช่นนี้จะทำลายข้อมูลเก่าบนจานแม่เหล็ก ดังนั้นการทำงานครั้งนี้จะทำเพียงหนเดียว

2. บนระบบที่ใช้งานอยู่ แฟ้มภาพลักษณ์ระบบปฏิบัติการ สามารถถูกนำไปยังจานแม่เหล็กโดยโปรแกรมอรรถประโยชน์ที่ชื่อ รี-สโตร์ (RESTORE) ยกเว้นแถบปลุกเครื่องและจานแม่เหล็กปลุกเครื่อง

เมื่อผู้ควบคุมเครื่องกดปุ่มสำหรับเปิดระบบเครื่อง ซีพียูจะหาภาพลักษณ์และนำภาพลักษณ์ทั้งหมดไปยังหน่วยความจำและเริ่มกระทำการในสภาพของการขัดจังหวะ เมื่อใจกลางได้เริ่มต้นทำงาน ตัวเลือกจ่ายงานจะเริ่มกระทำการให้เกิดกระบวนการระบบ

กระบวนการเฝ้าคุมจะเปิดแฟ้มข้อมูลภาพลักษณ์ เพราะแฟ้มข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยรหัสและข้อมูลซึ่งไม่คงค้าง (nonresident) และ ถูกนำมา (fetch) โดยผู้จัดการหน่วยความจำเมื่อต้องการ กระบวนการเฝ้าคุมจะเริ่มกระทำให้กระบวนการโปรแกรมแปลคำสั่ง (Command Interpreter) ทำงาน

ในการปกติผู้ควบคุมเครื่องจะกำหนดเวลา และทำการบรรจุซีพียูตัวอื่นพร้อมทั้งทำให้

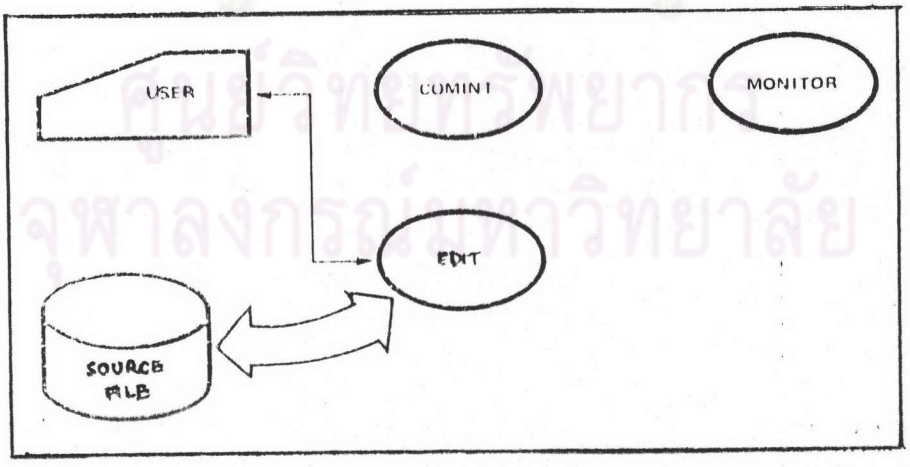
โปรแกรมแปลคำสั่งและโปรแกรมประยุกต์ทำงาน เฉพาะซีพียูแรกจะถูกบรรจุจากจานแม่เหล็ก ส่วนซีพียูที่เหลือจะถูกบรรจุโดยคำสั่งรีโหลด (RELOAD) ซึ่งจะทำการอ่านภาพลักษณ์ระบบปฏิบัติการ และถ่ายโอนภาพลักษณ์ (image) ข้ามบัสซึ่งติดต่อระหว่างซีพียู บัสนี้จะบรรจุซีพียูในลักษณะคู่ขนาน (parallel) ได้

<u>การสร้างกระบวนการงานประยุกต์</u> เมื่อมีโปรแกรมแปลคำสั่งปรากฏบนจอภาพ ผู้ใช้อาจจะใช้จอภาพของระบบ เพื่อสร้างและดำเนินการกับกระบวนการงานประยุกต์ ต่อไปนี้คือ ตัวอย่างในการสร้างกระบวนการงานประยุกต์

1. เมื่อโปรแกรมแปลคำสั่งปรากฏพร้อมจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ ผู้ใช้จะลอค-ออน (LOGON) เพื่อเข้าทำงาน ดูรูปที่ 2.30 การสร้างแฟ้มข้อมูลต้นฉบับประกอบ

2. ผู้ใช้เรียกโปรแกรมบรรณาธิกรณ์ (editor) เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บโปรแกรมต้นฉบับ (source program) โดยถ้าแฟ้มข้อมูลนั้นไม่มีในระบบ โปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งคำร้องขอให้สร้างกระบวนการไปยังกระบวนการเฝ้าคุม ตัวกระบวนการเฝ้าคุมจะใช้รหัสในโปรแกรมบรรณาธิกรณ์เพื่อสร้างกระบวนการบรรณาธิกรณ์ เพราะโปรแกรมแปลคำสั่งกำลังรอคอยู่ จอภาพของผู้ใช้จะปรากฏเพื่อให้กระบวนการบรรณาธิกรณ์ทำงาน

3. เมื่อบรรณาธิกรณ์เริ่มทำงานจะแสดงชื่อและรุ่นบนจอภาพ ผู้ใช้จะใส่คำสั่งในการสร้างแฟ้มข้อมูลเปล่าแล้วใส่คำสั่งของโปรแกรมต้นฉบับลงในแฟ้มข้อมูลนี้



รูปที่ 2.30 การสร้างแฟ้มข้อมูลต้นฉบับ

4. เมื่อผู้ใช้ใช้บรรฑาธิกรณ์เรียบร้อย ถ้าต้องการออกจากระบบกระบวนการบรรฑาธิกรณ์จะส่งคำขอหยุดงานไปยังกระบวนการเฝ้าคุม กระบวนการเฝ้าคุมจะหยุดงานบรรฑาธิกรณ์และส่งทรัพยากรของกระบวนการคืนให้กับระบบ แฟ้มข้อมูลที่ถูกสร้างโดยบรรฑาธิกรณ์ก็ยังคงอยู่บนจานแม่เหล็กในลักษณะแฟ้มข้อมูลถาวร พื้นที่ในจานแม่เหล็กจะไม่ถูกส่งกลับโดยระบบปฏิบัติการเมื่อการทำงานของบรรฑาธิกรณ์เสร็จสิ้นแล้ว

5. โปรแกรมแปลคำสั่งจะกลับมาควบคุมจอภาพตามปกติ สมมติว่าขณะนี้จะใช้โคบอลคอมไพเลอร์เพื่อคอมไพล์โปรแกรมที่สร้างขึ้นในข้อ 4 เช่นกันผู้ใช้จะเรียกใช้โคบอลโดยการส่งคำร้องขอบริการของโคบอลคอมไพเลอร์ เพื่อแปลโปรแกรมต้นฉบับไปเป็นรหัสจุดหมาย(object code) โปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งข้อความไปยังกระบวนการเฝ้าคุม คำขอนี้คือการสร้างกระบวนการโคบอล

6. โดยปกติ โปรแกรมแปลคำสั่งจะรอระหว่างการเริ่มต้น และกระทำการกับกระบวนการตัวใหม่ กระบวนการเฝ้าคุมจะใช้รหัสในโปรแกรมโคบอล เพื่อสร้างกระบวนการโคบอลเช่นเดียวกับกระบวนการบรรฑาธิกรณ์ โคบอลจะทำงานเช่นเดียวกับที่กล่าวถึงข้างต้น

7. เมื่อผู้ใช้ใช้คำสั่งรัน (RUN)ตามข้อ 5 โปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งข้อมูลการเริ่มต้นทำงาน (startup information) ไปยังโคบอลคอมไพเลอร์ ข้อมูลนี้จะสั่งให้คอมไพเลอร์อ่านภาพลักษณ์โปรแกรมต้นฉบับ (source image) แล้วนำรหัสที่ได้ไปยังแฟ้มข้อมูลโปรแกรมที่ระบุไว้

8. เมื่อทำการในข้อ 7 เสร็จ จะเกิดคำร้องขอส่งไปยังกระบวนการเฝ้าคุม ซึ่งส่งผลให้มีการคืนทรัพยากรทั้งหมดให้กับระบบ ถ้าการคอมไพล์เสร็จสิ้น แฟ้มข้อมูลโปรแกรมสำหรับกระบวนการงานประยุกต์จะยังคงอยู่บนจานแม่เหล็ก

9. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการโคบอล จะแสดงจอภาพเพื่อรับคำสั่งใหม่ ถ้าไม่สำเร็จก็ต้องเรียกใช้บรรฑาธิกรณ์เพื่อแก้ไขแล้วคอมไพล์ใหม่ ณ จุดนี้ ผู้ใช้จะใช้คำสั่งรันเพื่อให้โปรแกรมประยุกต์ทำการ

10. เพื่อจะดำเนินการโปรแกรมนี้ ระบบจะสร้างกระบวนการประยุกต์เช่นเดียวกับการสร้างกระบวนการบรรฑาธิกรณ์ หรือ อีกนัยหนึ่งโปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งคำร้องขอไปยังกระบวนการเฝ้าคุมเพื่อสร้างกระบวนการในการดำเนินการ

ถ้าการดำเนินการโปรแกรมไม่ได้ระบุเงื่อนไข โปรแกรมแปลคำสั่งจะรอจนกระทั่งกระบวนการประยุกต์หยุด หากใส่เงื่อนไข เช่น NOWAIT จะหมายถึงให้โปรแกรมแปลคำสั่งสามารถดำเนินการต่อได้ ในขณะที่กระบวนการที่ต้องการ กำลังทำงานอยู่

11. เมื่องานประยุกต์หยุด คำร้องขอจะถูกส่งไปยังกระบวนการเฝ้าคุม ซึ่งจะคืนทรัพยากรทั้งหมดที่กระบวนการนั้นๆ ใช้อยู่คืนให้ระบบ

12. เมื่องานประยุกต์เสร็จสิ้นลง โปรแกรมแปลคำสั่งจะแสดงจอภาพ เพื่อใส่คำสั่งต่อไป

กระบวนการงานประยุกต์หลายกระบวนการ (Multiple Application Processes)

จากตัวอย่างข้างต้น ก่อนที่จะแสดงจอภาพเพื่อใส่คำสั่ง โปรแกรมแปลคำสั่งจะรอให้กระบวนการนั้นจบเสียก่อน มีทางเป็นไปได้ในการสร้างหลายกระบวนการโดยไม่ต้องให้โปรแกรมแปลคำสั่งรอให้กระบวนการใหม่เสร็จสิ้น ก็โดยการใส่เงื่อนไขพิเศษในการดำเนินการโปรแกรม เช่น NOWAIT โดยปกติพร้อม (Prompt) จะไม่ปรากฏจนกว่าข้อความจะถูกส่งจากโปรแกรมแปลคำสั่งไปยังกระบวนการใหม่ที่สร้างใหม่ หนึ่งในข้อความเหล่านี้คือข้อความแสดงกระบวนการใหม่ (Newprocess message) และ ข้อความเริ่มต้น (Startup message) ทำงาน ซึ่งประกอบด้วยชื่อของแฟ้มข้อมูลรับเข้าและส่งออกที่กระบวนการจะเปิดใช้ ถ้าไม่ระบุจะใช้ค่ากำหนดโดยปริยาย (default) ความสามารถที่จะบอกกระบวนการใหม่ว่าแฟ้มข้อมูลใดใช้เป็นแฟ้มข้อมูลรับเข้าและส่งออกเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่น และสร้างกระบวนการหลายกระบวนการ โดยใช้โปรแกรมแปลคำสั่งเดียวกัน

จากรูปที่ 2.31 เป็นตัวอย่างในการสร้างกระบวนการที่มีชุดโปรแกรมแปลคำสั่งหลายชุด และ มีการระบุจอภาพการส่งออกของกระบวนการเฉพาะไป จะเห็นว่ากระบวนการต่างๆ สามารถทำงานพร้อมๆ กันได้โดยใช้ NOWAIT โดยที่ระบบปฏิบัติการจะเป็นผู้สร้างโปรแกรมแปลคำสั่งเสมือนเป็นกระบวนการผู้ใช้ธรรมดา นอกเหนือจากผู้ใช้สร้างกระบวนการงานประยุกต์ด้วยการใช้เงื่อนไข NOWAIT ยังสามารถระบุใช้แฟ้มข้อมูลรับเข้า-ส่งออกได้อีกด้วย แฟ้มข้อมูลเหล่านี้ไม่จำกัดเพียงกับจอภาพเท่านั้น

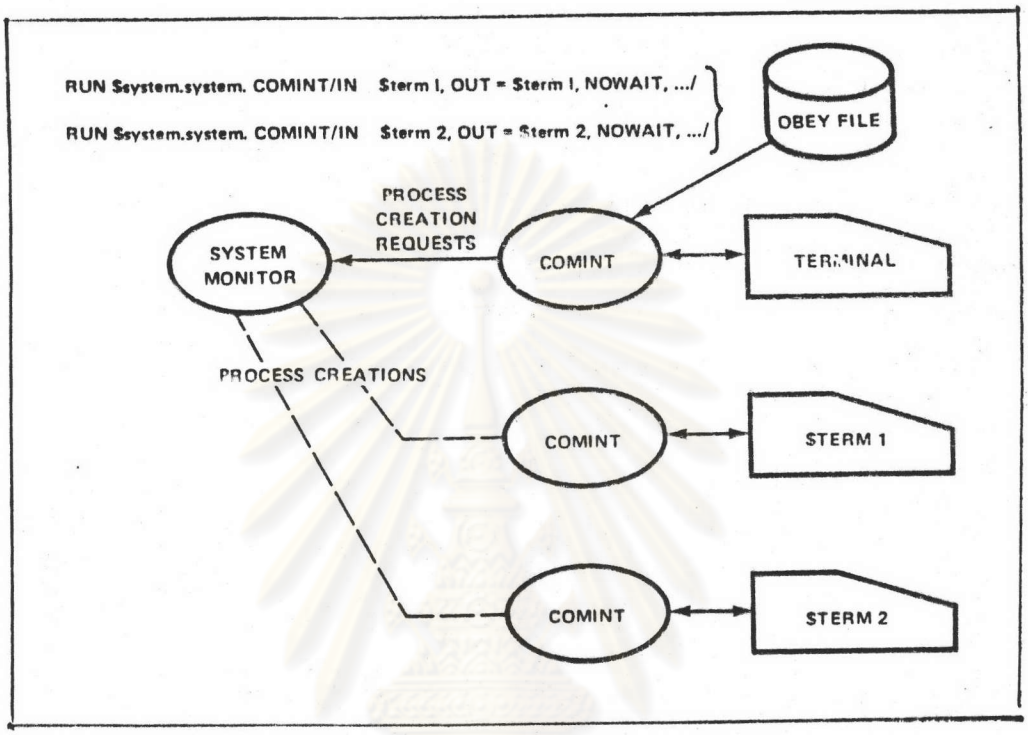
วงจรชีวิตของกระบวนการ (Process Life Cycle)

จากรูปที่ 2.32 แสดง วงจรชีวิตของกระบวนการจะเริ่มต้นตั้งแต่บนสุดสู่ล่างสุด แต่ละสถมภ์จะแทนกระบวนการระบบที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตของกระบวนการ กรอบสี่เหลี่ยมเส้นประในกระบวนการจานแม่เหล็กแสดงว่า อาจจะกระทำการในซีพียูอื่น และท้ายสุดแต่ละลูกศรจะแทนข้อความที่ใช้ติดต่อกันหรือผ่านคำร้องขอ

วงจรชีวิต

1. เมื่อโปรแกรมแปลคำสั่งอ่านคำสั่ง เพื่อกระทำการของกระบวนการผู้ใช้โดยจะเรียกกระบวนคำสั่งชื่อ NEWPROCESS เพื่อสร้างกระบวนการใหม่ โดยส่งข้อความไปยัง

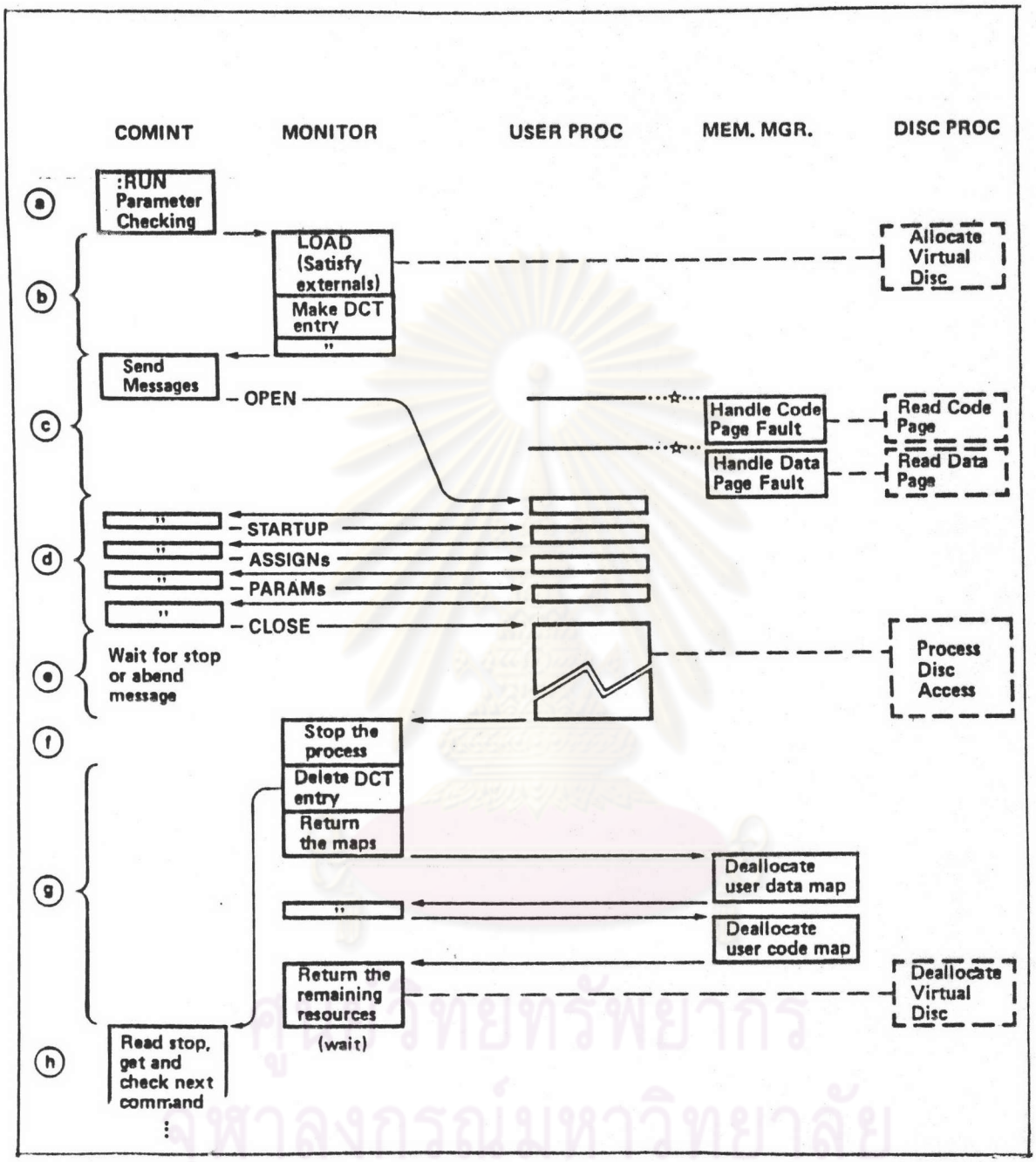
กระบวนการเฝ้าคุมในซีพียูที่กระบวนการดำเนินการอยู่ โปรแกรมแปลคำสั่งภายใต้กระบวนคำสั่ง NEWPROCESS จะรอคำตอบ เพื่อตรวจสอบความสำเร็จของคำร้องขอ



รูปที่ 2.31 การสร้างหลายกระบวนการ

2. กระบวนการเฝ้าคุมซึ่งได้รับข้อความในการเริ่มต้นกระบวนการ กระบวนการจะเปิดแฟ้มข้อมูลของรหัสและคลังโปรแกรม ซึ่งถ้าเกี่ยวโยงกับโปรแกรมต่างๆ ก็จะทำช่วงนี้ เมื่อรหัสจากโปรแกรมจะดำเนินการ อาจจะทำงานช้า ๆ โดยปราศจากการอ้างอิงภายนอกทุกครั้ง แต่ถ้าเป็นไปได้ระบบปฏิบัติการจะเปลี่ยนตำแหน่งที่มีผลกระทบต่องาน และการอ้างอิงภายนอกในโปรแกรมจะถูกกำหนดค่าเมื่อมีการดำเนินการกับโปรแกรมอีก

เมื่อกระบวนการสามารถกระทำการได้ สถานะจะถูกเปลี่ยนไปเพื่อเริ่มต้นกระบวนการหลักของโปรแกรม กระบวนการเฝ้าคุมจะเปิดแฟ้มข้อมูลรหัส (code files) เป็นแฟ้มข้อมูลสับค่าที่อ่านอย่างเดียวพร้อมทั้งเปิดเซกเมนต์ข้อมูลเป็นการอ่านและบันทึก ซึ่งถ้ากระบวนการมีชื่อจะจองระเบียนในตารางควบคุมเป้าหมาย เมื่อกระทำการสำเร็จไม่ว่าจะมีข้อผิดพลาดหรือไม่ กระบวนการเฝ้าคุมจะแสดงแหล่งที่มาของข้อความ มักเป็นโปรแกรมแปลคำสั่งด้วยรหัสข้อผิดพลาด (error code)



รูปที่ 2.32 วงจรชีวิตของกระบวนการ

3. โปรแกรมแปลคำสั่งพิจารณากระบวนการผู้ใช้ในการรับข้อความและส่งข้อความไปให้ ข้อความที่ส่งมายังกระบวนการผู้ใช้ว่ามีกระบวนการอื่นได้เปิดกระบวนการตัวเองหรือไม่ ข้อความที่เข้ามาจะอยู่ในคิวของพีซีบีของกระบวนการผู้ใช้ และโปรแกรมแปลคำสั่งจะหยุดชั่วขณะ

เพื่อรอการตอบสนอง ขณะนี้ตัวเลือกจ่ายงานจะเลือกกระบวนการผู้ใช้ถัดไปให้ดำเนินการ ตัวเลือกจ่ายงานจะกำหนดค่ารีจิสเตอร์ในพีซีบีของกระบวนการ และถ่ายโอนความควบคุมไปยังกระบวนการโดยออกจากสภาพการขัดจังหวะ โดยปกติโปรแกรมจะเริ่มดำเนินการโดยใช้หน้าของรหัสหรือหน้าของข้อมูลซึ่งไม่มีในหน่วยความจำหลัก แต่ละครั้งที่มีการอ้างอิงถึงหน้า ซึ่งไม่มีอยู่ในหน่วยความจำ โปรแกรมจะหยุดรอจนกระทั่งผู้จัดการหน่วยความจำสามารถนำหน้าจากจานแม่เหล็กมาได้ ช่วงขณะเริ่มต้นโปรแกรมจะทำให้เกิดความผิดพร่องของหน้า (page fault) แต่ก็สามารถนำหน้ามาดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว

4. กระบวนการผู้ใช้อ่านข้อความซึ่งอยู่ในแถวคอยในพีซีบี และส่งคำตอบให้โปรแกรมแปลคำสั่ง ในการตอบสนองโปรแกรมแปลคำสั่งจะถูกปลุกให้ทำงานและส่งข้อความการเริ่มต้นไปยังกระบวนการผู้ใช้ ข้อความนี้ประกอบด้วยพารามิเตอร์และข้อมูลอื่นที่เอื้อต่อการดำเนินการ ในกรณีนี้กระบวนการผู้ใช้จะตอบข้อความนี้ด้วยค่าส่งกลับ ซึ่งระบุตรรกะของกระบวนการผู้ใช้ที่ถูกตระเตรียมเพื่อรับข้อความเพิ่มเติม ซึ่งโปรแกรมแปลคำสั่งอาจต้องส่งไปอีก

เมื่อคำร้องขอของกระบวนการผู้ใช้มาถึง โปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งข้อมูลซึ่งระบุในคำสั่ง ASSIGN หรือ PARAM เมื่อทุกข้อความถูกแลกเปลี่ยน โปรแกรมแปลคำสั่งจะส่งข้อความปิดการติดต่อไปยังกระบวนการผู้ใช้ ถ้ากระบวนการผู้ใช้ไม่ได้ทำงานด้วยเงื่อนไขNOWAITโปรแกรมแปลคำสั่งจะรอจนกระทั่งได้รับจากระบบปฏิบัติการว่า กระบวนการผู้ใช้ได้หยุดทำงานก่อนรับคำสั่งถัดไป

5. กระบวนการผู้ใช้จะกระทำการต่อไป การทำงานนี้อาจถูกขัดจังหวะโดยการหยุดกิจกรรมทางการรับเข้า-ส่งออกข้อมูล หรือการทำงานกระบวนการซึ่งมีบุริมภาพสูงกว่า จำไว้ว่าพีซีบีจะถูกกระบวนการทั้งหมดใช้งาน และตัวจัดกระทำการขัดจังหวะใช้งานร่วมกันและจะดำเนินการคำสั่งเดียว ณ เวลาหนึ่ง แต่ละครั้งที่กระบวนการใหม่ดำเนินการสถานะของกระบวนการเก่าจะถูกเก็บไว้ และพีซีบีจะเปลี่ยนค่าให้ใหม่ซึ่งส่งผลกระทบไปยังรหัสและข้อมูลของกระบวนการที่เลือกมาดำเนินการ

6. เมื่อกระบวนการผู้ใช้ปฏิบัติการเสร็จสิ้นแล้วจะทำการเรียกกระบวนคำสั่ง STOP เพื่อหยุดตัวเอง การเรียกอาจมีการลงรหัสโดยตรงหรือผ่านคอมไพเลอร์เพื่อจัดเตรียมตรรกะของโปรแกรมไว้ให้ กระบวนคำสั่ง STOP จะส่งข้อความไปยังกระบวนการเฝ้าคุมเพื่อให้หยุดกระบวนการผู้ใช้

7. ในการตอบสนองข้อความจากกระบวนคำสั่ง STOP กระบวนการเฝ้าคุมจะหยุดกระบวนการโดยการตัดขาดการติดต่อ และส่งทรัพยากรคืนให้ระบบ กระบวนการเฝ้าคุมจะปิดแฟ้มข้อมูลที่กระบวนการเปิดใช้ทั้งหมด และนำระเบียนของกระบวนการออกจาก ดีซีที (DCT)

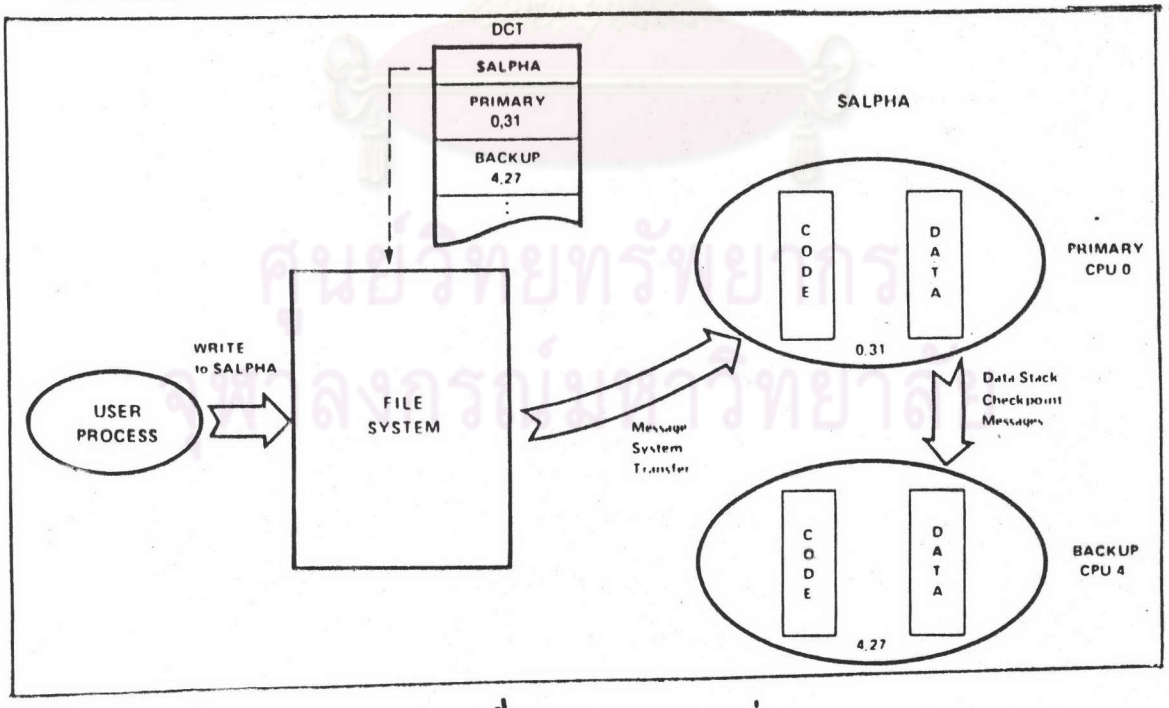
กระบวนการเฝ้าคุมจะร้องขอผู้จัดการหน่วยความจำเพื่อเลิกจัดสรรหน้าเชิงกายภาพ

ทั้งหมดซึ่งกระบวนการได้ใช้ไป ผู้จัดการหน่วยความจำจะตอบสนองโดยการเลิกจัดสรรหน้าโดยการกำหนดค่าบางประการ เพื่อให้กระบวนการอื่นหรือระบบอื่นสามารถใช้ได้ต่อไป จากนั้นกระบวนการเฝ้าคุมจะส่งข้อความไปยังกระบวนการจานแม่เหล็กเพื่อปิดแฟ้มข้อมูลสับค่า ซึ่งกระบวนการผู้ใช้เป็นเจ้าของ ลบแถวคอยของข้อความบนพีซีบีของกระบวนการที่หยุดการทำงาน เมื่อทรัพยากรของกระบวนการผู้ใช้ถูกส่งคืนให้ระบบ กระบวนการเฝ้าคุมจะส่งข้อความหยุดไปยังกระบวนการแม่ ในกรณีนี้ คือ โปรแกรมแปลคำสั่ง กระบวนการเฝ้าคุมจะรอจนกว่าจะได้รับคำร้องขอที่เดินทางเข้ามา

8. โปรแกรมแปลคำสั่งจะสามารถกลับมาทำงานและอ่านข้อความหยุดทำงานซึ่งถูกส่งมาโดยโปรแกรมเฝ้าคุม และทำการตรวจสอบข้อความแล้วพิจารณาว่ากระบวนการผู้ใช้สุดท้ายซึ่งได้สร้างขึ้นเสร็จสิ้นแล้ว

กระบวนการคู่ (Process Pairs)

การปฏิบัติการที่ทนต่อความผิดพร่อง (Fault-tolerant) ขึ้นกับแนวความคิดกระบวนการคู่ซึ่งมีกระบวนการหลักและกระบวนการสำรอง โดยมีชุดโปรแกรมที่เหมือนกันกระบวนการคู่เหล่านี้จะเกิดจากระบบปฏิบัติการเป็นคู่และผู้ใช้เป็นคู่ อย่างไรก็ตามสามารถติดตั้งโดยวิธีที่แตกต่างกันขึ้นกับสิ่งที่สร้างมัน



รูปที่ 2.33 กระบวนการคู่

กระบวนการคู่โดยปกติจะมีชื่อ ซึ่งทำให้ง่ายในการทำงาน ชื่อกระบวนการและรายละเอียดของเลขที่กระบวนการ (Process Id Number) ของกระบวนการหลักและกระบวนการสำรองจะถูกบันทึกในตารางควบคุมเป้าหมาย ดังนั้นเมื่อผู้ใช้ต้องการติดต่อกับกระบวนการคู่นี้ระบบปฏิบัติการจะค้นหากระบวนการโดยการหาชื่อในตารางควบคุมเป้าหมาย และจะได้ค่าเลขซีพียูและตัวเลขกระบวนการ หรือที่เรียกว่า พิด (PID)

เพื่อให้เกิดความทนต่อความผิดพร่องในระดับของระบบ แต่ละอุปกรณ์รับเข้า-ส่งออกจะถูกควบคุมโดยกระบวนการคู่ เมื่อโปรแกรมงานประยุกต์ต้องการเข้าถึงอุปกรณ์ ระบบแฟ้มข้อมูลจะค้นหาระเบียนของอุปกรณ์ก่อนในตารางควบคุมเป้าหมาย ตารางนี้จะเก็บหมายเลขซีพียูและหมายเลขกระบวนการสำหรับกระบวนการหลักและสำรองที่คุมอุปกรณ์ ระบบแฟ้มข้อมูลจะติดต่อกับคำร้องขอของผู้ใช้ผ่านข้อความที่ส่งไปยังกระบวนการหลักของอุปกรณ์

ภายใต้ภาวะการณ์ปกติ กระบวนการผู้ใช้จะติดต่อกับกระบวนการรับเข้า-ส่งออกผ่านระบบแฟ้มข้อมูล (file system) เช่นเดียวกับผู้ใช้ทำงาน ชื่อกระบวนการหรืออุปกรณ์จะแทนกระบวนการเดี่ยวกระบวนการหนึ่ง ในความเป็นจริงการอ้างอิงชื่อทั้งกระบวนการหลัก และกระบวนการสำรอง กระบวนการสำรองจะอยู่ในสภาพเสมือนหยุดนิ่ง ยกเว้น การประมวลผลข้อความตรวจสอบ (checkpoint message) จนกว่ากระบวนการหลักจะเลิกทำงาน ระบบแฟ้มข้อมูลจะยังคงรับผิดชอบในการส่งข้อความไปยังสมาชิกที่เหลือของคู่ของกระบวนการ ตัวอย่างเช่น สมมติว่าผู้ใช้เปิดแฟ้มข้อมูลและบันทึกข้อมูลยังกระบวนการชื่อ $ALPHA ตามรูป 2.33 เพื่อจะเก็บคำร้องขอไว้ กระบวนการหลัก $ALPHA จะส่งจุดตรวจสอบไปยังกระบวนการสำรอง เมื่อไรก็ตามที่กระบวนการหลักไม่สามารถทำงานได้ ระบบแฟ้มข้อมูลจะพยายามที่จะอ้างอิงถึงกระบวนการ $ALPHA ซึ่งทำงานไม่ได้ไปแล้ว

ระบบแฟ้มข้อมูลจะส่งข้อมูลโดยตรงไปยังสมาชิกหลักของคู่ของกระบวนการ เมื่อการถ่ายโอนล้มเหลว ข้อความที่ค้างอยู่ที่ส่งไปยังกระบวนการจะถูกยกเลิกและส่งผลทำให้เกิดข้อความ "เส้นทางผิดพลาด" (path error) ส่งไปยังอุปกรณ์หรือกระบวนการ ในกรณีนี้กระบวนการสำรองจะกลายเป็นกระบวนการหลัก และการปฏิบัติการอาจจะพยายามทำใหม่กับกระบวนการหลักอันใหม่

กระบวนการรับเข้า-ส่งออกกระทำการในลักษณะคู่ขนาน เมื่อคำร้องขอของการเข้าถึงอุปกรณ์เกิดขึ้น ระบบปฏิบัติการจะส่งข้อความไปยังกระบวนการแรก(หลัก)ในระเบียนดีซีที สำหรับอุปกรณ์นั้น ถ้าข้อความไม่สามารถทำงานได้จะเกิดข้อผิดพลาดที่ทำให้ระบบปฏิบัติการสลับค่าระหว่างกระบวนการหลักและสำรองในดีซีที เมื่ออุปกรณ์ คือ จานแม่เหล็กและค่าซิงค์เด็ฟ (syncdepth ซึ่งหมายถึงค่าแสดงจำนวนการเข้าถึงอุปกรณ์) มีค่ามากกว่า 0 ระบบจะส่งคำร้องขออีกครั้งไปยังกระบวนการหลักใหม่ ระบบปฏิบัติการจะจัดการกับการฟื้นฟูความผิดพลาด

โดยอัตโนมัติโดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องสนใจถึงกระบวนการที่กำลังจัดการนั้นอยู่ ถ้าอุปกรณ์นั้นไม่ใช่จานแม่เหล็ก ผลของความล้มเหลวซึ่งเกิดขึ้นจะไม่มีการพยายามกระทำอีกครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย