

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ กับงานวิจัย

พุลศิริ อินทรกุล

กองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

โทรศัพท์ 579-5230-4 ต่อ 155 โทรสาร 561-3013

บทคัดย่อ

รายงานนี้เป็นการเสนอแนะคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ราคาถูกลง เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์แสดงภาพทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างภาพและแสดงภาพที่ละเอียด เป็นการใช้เทคนิคหลายอย่างด้วยระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกส์และคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน (แสดงภาพต่อเนื่อง) โดยใช้จอภาพสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาด คอมพิวเตอร์กราฟิกส์แบบสามมิติ งานจำลองแบบ และการสร้างหุ่นจำลองทางวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ เสนอแนะวิธีการสร้างภาพกราฟิกส์ ซอฟต์แวร์ อุปกรณ์และส่วนประกอบเบื้องต้นในระบบ ไมโครคอมพิวเตอร์ ขอบเขตการทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยเน้นทางด้านการใช้ประโยชน์ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกส์

Computer Graphics and Research Projects

Phulsiri Ingtrakul

Electronics Instrumentation Div. Office of Atomic Energy For Peace

Tel. 579-5230-4 Ext. 155 Fax. 561-3013

ABSTRACT

This report was prepared as an account of scientific visualization tools and application tools for scientists and engineers. It is provided a set of tools to create pictures and to interact with them in natural ways. It applied many techniques of computer graphics and computer animation through a number of full-color presentations as computer-animated commercials, 3D computer graphics, dynamic and environmental simulations, scientific modeling and visualization, physically based modelling, and behavioral, skeletal, dynamics, and particle animation. It took in depth at original hardwares and limitations of existing PC graphics adapters contain system performance, especially with graphics-intensive application programs and user interfaces.

1. บทนำ

สิบสองปีในอดีตนับตั้งแต่ Kenneth Wilson นักฟิสิกส์รางวัลโนเบลประสบความสำเร็จในโครงการวิจัยจำนวนหนึ่งจากซูเปอร์คอมพิวเตอร์ ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากซูเปอร์คอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลาย อาทิออกแบบเครื่องบิน จำลองโครงสร้างสารกึ่งตัวนำ วิเคราะห์ความสั่นเปลื้องของเชื้อเพลิง จำลองแบบโครงสร้างของยาโรค เรียนรู้การทำปฏิกิริยาของสารแคตตาลิซิส ออกแบบโครงสร้างสารโพรตีน ค้นคว้าการทำงานของเริ่ระในร่างกายมนุษย์ ประมวลผลภาพถ่าย(เช่นจากดาวพระศุกร์) พยากรณ์อากาศ ศึกษาผลภาวะ จำลองแบบภาวะการณ์ในมหาสมุทร ประมวลค่าของไอโซนในชั้นบรรยากาศต่างๆ ค้นหาแหล่งน้ำมันปิโตรเลียม เป็นต้น

เครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ดังกล่าวมีความเร็วในการทำงานมากกว่าหนึ่งพันล้านคำสั่งต่อวินาที แต่นักวิจัยก็ยังไม่พอใจกับความเร็วขนาดนี้ ยังใคร่หาระบบเครื่องที่รวดเร็วกว่านี้ อาจเป็นไปได้ว่ามากกว่าหนึ่งแสนล้านคำสั่งต่อวินาที เป็นเพราะว่าด้วยความเร็วขนาดนี้สามารถใช้จำลองแบบยานความเร็วสูงหลายชนิดรวมทั้งยานอวกาศด้วย Olaf O. Storaasli นักวิจัยจากองค์การนาซากล่าว เพราะงานเหล่านี้ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นจำนวนมาก เพื่อว่าจะได้สำเร็จอย่างรวดเร็วทันการ และมีประสิทธิภาพงานสูง รวมทั้งค่าใช้จ่ายต่างๆก็ถูกลงด้วย

เพื่อให้ได้ความเร็วขนาดดังกล่าวบรรลุความจริง ก็ต้องใช้คอมพิวเตอร์จำนวนมากมาต่อขนานกัน นักวิจัยบางกลุ่มใช้ superworkstations หลายๆเครื่องต่อกันแบบขนานเป็นเครือข่าย(network) ก็สามารถใช้งานแทนซูเปอร์คอมพิวเตอร์ได้ ปัจจุบันไมโครโปรเซสเซอร์มีความเร็วสูงขึ้นมา เข้าใกล้ซูเปอร์คอมพิวเตอร์แล้ว บริษัทที่ผลิตซูเปอร์คอมพิวเตอร์-ขายจึงนำไมโครคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ 64 บิตมาต่อขนานกัน เพื่อให้ได้ความเร็วการประมวลผลสูงขึ้น นับว่าเป็นข่าวดีของนักวิจัยไทยที่มีงบประมาณน้อยจะได้จัดซื้อได้ง่ายขึ้น

งานประมวลผลของงานวิจัยยุคใหม่ มักจะใช้จอภาพสร้างภาพจำลองของจริง(real image) ซึ่งบางครั้งทำเป็นภาพต่อเนื่อง (animation) เรียกว่าการประมวลผลภาพ (image processing) ในปีค.ศ. 1990 องค์การมาตรฐานสากล (the International Standards Organization) ร่วมกับสภาอิเล็กทรอนิกส์สากล (International Electronics Commission) และกลุ่มนักวิชาการที่ 24 ของสภาวิชาการที่ 1 แห่งมหาวิทยาลัยดามสตัดท์ (University of Darmstadt) ประเทศเยอรมันนี้ เรียกชื่อย่อว่า "ISO/IEC/JTC1/SC24" คู่มือละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิงเลขที่ 3 ประกอบด้วย 3 หัวข้อสำคัญ คือ :-

1.1 สถาปัตยกรรมพื้นฐานของภาพ (the common imaging architecture)

1.2 โปรแกรมประยุกต์ที่นำมาใช้งานร่วมกัน (the application-programming interfaced (API) และ

1.3 ลักษณะการถ่ายทอดข้อมูลภาพไปใช้งาน (the image interchange format (IIF)

เพิ่มข้อมูลสามารถถ่ายทอดสีสรรค์และภาพได้คือเรียกว่า FTICRP (File for the Transfer of Colored Raster Pictures) พัฒนาขึ้นมาโดย สถาบันวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟิกส์แห่งดามสตัดท์ (the Fraunhofer Computer Graphics Research Institute in Damstadt) ซึ่งเป็นการ

ปฏิวัติรูปแบบการแสดงผลของคอมพิวเตอร์อันเป็นกุญแจสู่โลกอีกใบหนึ่งที่เสมือนจริง (Virtual Reality)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สร้างภาพ และสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขภาพได้ อุปกรณ์เหล่านี้แบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยมีโปรแกรมเมอร์เป็นผู้ใช้และเขียนโปรแกรม ซึ่งประกอบด้วยคำสั่งทางด้านกราฟิกส์เป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลในคอมพิวเตอร์กราฟิกส์เป็นภาพ สี และลักษณะของพื้นผิว มากกว่าที่จะเป็นตัวเลข หรือตารางข้อมูล

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ที่กล่าวถึง แบ่งออกเป็นส่วนของ การแสดงภาพและส่วนของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

อุปกรณ์ที่ใช้แสดงภาพแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ :-

2.1 Pen Plotter เป็นเครื่องที่มีแขนจับปากกาหมึกสีต่างๆ ด้วยขนาดปลายปากกาที่มีขนาดเส้นปากกาหลายๆขนาด มีความไม่สะดวกในการใช้งานหลายประการ เช่นต้องมีการเปลี่ยนขนาดปลายปากกา การเปลี่ยนสีหมึกที่ใช้เขียน และต้องมีการล้างปากกามือเกิด-อุดตัน หรือหมึกเดินไม่สะดวก ขนาดเส้นไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

2.2 Drum Plotter เป็นเครื่องเขียนที่มีวิธีการเขียนด้วยหมึกคล้ายกับ pen-plotter แต่มีการเลื่อนกระดาษขึ้นลงแทนการใช้แขนจับปากกาในแนวตั้ง ทำให้การเขียนทำได้รวดเร็วขึ้น เหมาะสำหรับการเขียนบนกระดาษขนาดใหญ่ แต่ยังมีปัญหาเรื่องปลายปากกาอุดตัน และต้องเปลี่ยนสีหมึกบ่อยๆ

2.3 Laser Printer มีทั้งชนิดที่เป็นสีขาว-ดำ และสีธรรมชาติ เป็นเครื่องพิมพ์สีที่มีผู้นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะทำงานได้รวดเร็ว แต่มีราคาแพง คุณภาพการพิมพ์ขึ้นอยู่กับราคาและจำนวนจุดพิมพ์ต่อนิ้วฟุต ถ้าเป็นชนิดใช้หมึกดำสีเดียว ราคาจะลดลงประมาณสองถึงสี่เท่าของราคาเครื่องพิมพ์แบบสีธรรมชาติ ส่วนความละเอียดของจุดพิมพ์ชนิดขาว-ดำใช้ขนาด 300 จุดพิมพ์ต่อนิ้วขึ้นไป ถ้าเป็นเครื่องพิมพ์สีธรรมชาติต้องมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 1200 จุดต่อนิ้ว จึงจะน่าดู (ไม่หยابจนเกินไป)

2.4 Inkjet Printer มีทั้งชนิดที่เป็นสีขาว-ดำ และชนิดที่เป็นสีธรรมชาติเช่นเดียวกัน

เป็นเทคโนโลยีการเขียนแบบ และวาดภาพยุคใหม่ ที่เข้ามาแทนที่เครื่อง pen plotter และ drum plotter สามารถตัดปัญหาการเปลี่ยนหมึกและปลายปากกา และตัดกังวลเรื่องปลายปากกาอุดตันไปได้ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการพิมพ์สูงขึ้นด้วย เหมาะสำหรับงานเขียนแบบ หรือภาพพิมพ์ที่ละเอียดซับซ้อน เนื่องจากมีความเร็วในการพิมพ์ที่คงที่ ไม่ว่าภาพจะมีจำนวนเส้นมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งต่างจาก pen plotter และ drum plotter ที่จำนวนเส้นมากขึ้นเท่าใดก็จะพิมพ์ช้าลงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการพิมพ์ก็ยังช้ากว่า laser printer ซึ่งก็ยังคุ้มค่าเพราะมีราคาถูกกว่า laser printer

2.5 Graphics Display เป็นจอภาพที่สามารถเขียนภาพเป็นลายเส้นและรูปทรง - ต่างๆ แบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือการเขียนด้วยลายเส้นและการเขียนด้วยแรสเตอร์ (raster)

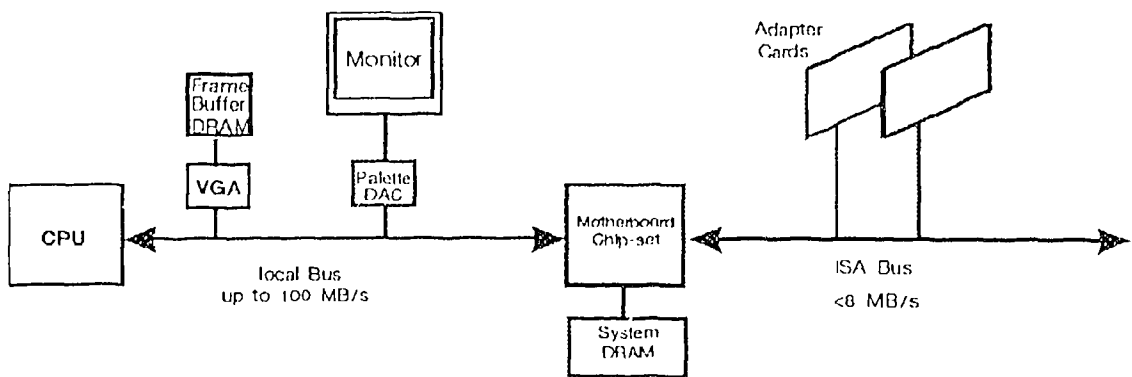
2.5.1 การเขียนภาพด้วยเส้น (Line Drawing) แสดงภาพด้วยเส้นอย่างการเขียนแบบ เป็นการแสดงภาพด้วยเส้นอย่างเดียว โดยการกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด แล้วลากต่อด้วยเส้นตรง หรือเส้นโค้งของวงกลม ซึ่งมีรัศมีที่กำหนด ไม่สามารถแสดงภาพเป็นรูปทรงอย่างอื่น

2.5.2 การแสดงภาพด้วยแรสเตอร์ เป็นการใช้อุปกรณ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็กๆ หลายๆจุด แต่ละจุดเรียกชื่อว่า "พิกเซล" (pixel) แทนรายละเอียดของภาพ แรสเตอร์สามารถแสดงภาพได้ทั้งแบบลายเส้น อย่าง line drawing หรือเป็นภาพที่มีสีสรรค์ รูปสองมิติอย่างจอโทรทัศน์ หรือเป็นภาพสามมิติแบบใดก็ได้ (อ่านรายละเอียดได้ในเอกสารอ้างอิงที่ 44.)

จอภาพทั้งสองแบบนี้ยังสามารถแสดงตัวอักษรได้เช่นเดียวกับจอภาพทั่วไป หรือเปลี่ยนเป็นการแสดงภาพแบบกราฟิกส์ก็ได้ด้วยสวิตช์โหมด หรือภายใต้การควบคุมของโปรแกรมงาน ดังนั้นข้อมูลที่เป็นแรสเตอร์จึงมีความสำคัญต่อระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกส์มาก เนื่องจากข้อมูลแต่ละกรอบที่แสดงบนจอภาพมีความยาวมาก ถ้าเป็นจอภาพแบบ EGA ซึ่งมีความละเอียดขนาด 400 X 600 จุด จะต้องมีการส่งข้อมูลมาแสดงภาพถึง 240,000 จุดต่อหนึ่งกรอบภาพ และถ้าเป็นภาพเคลื่อนไหวแล้ว ต้องมีการรับ/ส่งข้อมูลด้วยความเร็วถึง 240,000 X 16 จุด หรือ 3.84 ล้านจุดภาพต่อวินาที ซึ่ง ISA BUS อันเป็นมาตรฐานของคอมพิวเตอร์แบบ 16 บิต (เช่น Intel-80286) สามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้ทัน แต่ได้คุณภาพต่ำมาก (ภาพหยาบและกระพริบ) ถ้าเป็นจอภาพชนิดที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ VGA มีความละเอียดภาพ 800 X 600 จุดภาพ ขนาดสี 256 สี ต้องการความเร็วในการ

รับ/ส่งข้อมูลอย่างน้อย 469 kbytes ต่อภาพจึงมีอุปสรรค นี่ก็สาเหตุให้มีการเพิ่มความ-
เร็วในการแสดงภาพด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

จากประสบการณ์ของผู้เขียนระบบบัสเป็นสิ่งหนึ่งที่ยุ่ชื่อไมโครคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปไม่ค่อย
ให้ความสำคัญมากนัก ทั้งที่จริงๆแล้วการเลือกระบบบัสอย่างเหมาะสมเป็นหนทางสู่ความเร็วอย่าง
หนึ่งเลยทีเดียว และด้วยระบบบัสเป็นทางเลือกทางหนึ่งในการทดลองเพิ่มความเร็วของกรใช้จอภาพ-
ในระบบกราฟฟิกอย่างได้ผลดีดังกล่าวมาแล้ว ผู้เขียนใช้ Local Bus ของบริษัท OPTi Inc. ก็เนื่องจาก
ว่าระบบนี้เป็นสถาปัตยกรรมทางฮาร์ดแวร์ระบบเปิดที่นิยมใช้กันแพร่หลาย และพร้อมกันมาตรฐาน-
ของ VESA(Vidio Electronics Standards Association) ก็ได้รวมเอามาตรฐานของ OPTi เข้าไว้ด้วย
เรียกว่า VL Bus ซึ่งวงจรการทำงานแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย หากพิจารณาจากรูปที่ 1. จะเห็นความ
แตกต่างระหว่าง ISA Bus และ Local Bus อย่างชัดเจน



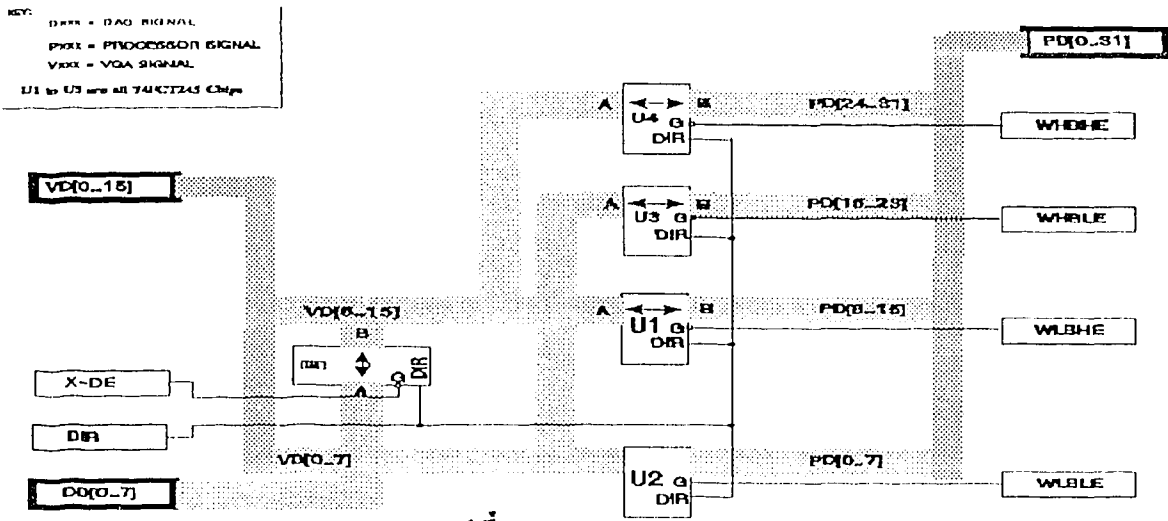
รูปที่ 1.

หลักการของ Local Bus นั้นคือการส่งข้อมูลจาก processor ไปยังอุปกรณ์ต่างๆคล้ายกับสาย
สัญญาณที่ต่อจากตัว processor ไปยังช่องเสียบแผ่นวงจร เรียกว่าพอร์ต (port) ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
ทั้งหลายอุปกรณ์ต่างๆจะสื่อสารกับระบบโดยผ่านทางพอร์ต ไม่ว่าจะเป็นดีสก์ไดรฟ์ วิดีโอการ์ด
หรืออะไรก็ตาม สำหรับ Local Bus ต่างกับระบบบัสธรรมดา (ISA) ตรงที่มีการแยกบัสออกมาอีกระ-
บบหนึ่ง โดยที่บัสระบบใหม่จะมีความใกล้ชิดกับ processor มากกว่าระบบเดิม (แบบISA) และใช้สัญญาณ
นาฬิกาเดียวกับ processor ดังนั้น Local Bus จะทำงานได้ช้าหรือเร็วเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับว่า proces-
sor นั้นทำงานที่ความเร็วเพียงใด ซึ่งเปรียบเทียบเสมือนกับว่าแผ่นวงจรที่เป็น Local Bus ได้เข้ามาเป็นส่วน
หนึ่งของเมนบอร์ดเลยทีเดียว

Local Bus ที่ผลิตจำหน่ายแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ :-

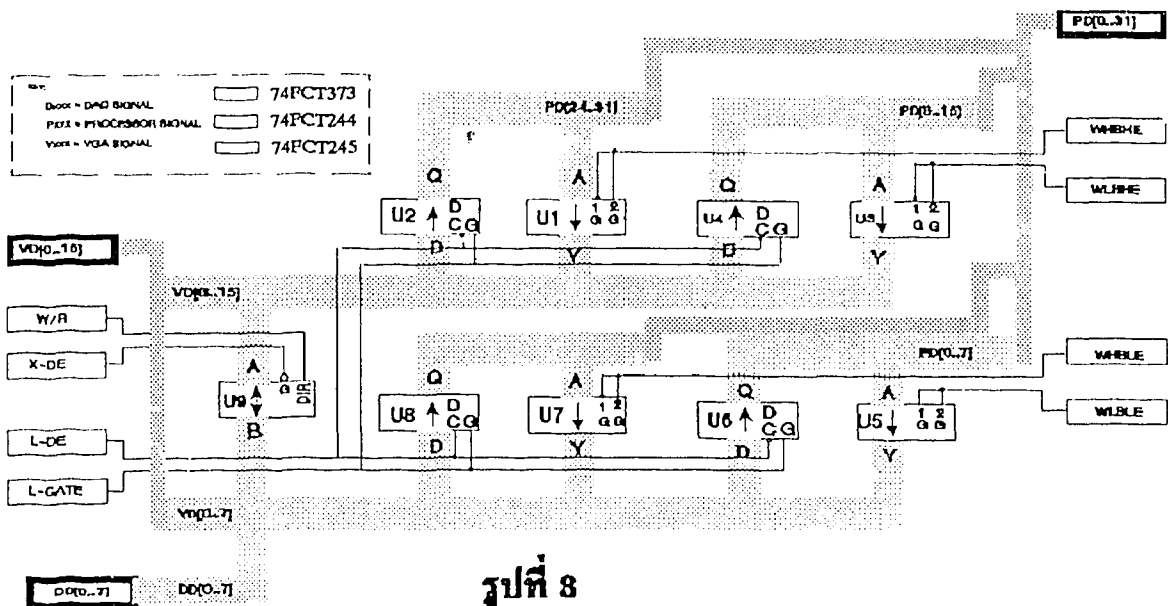
1. OPTi local bus VGA มีช่องเสียบที่วางเสมือนหนึ่งมี EISA (Extended ISA) เพิ่มเข้าไปใน-
แถวของช่องเสียบด้านหน้าแถวเดียวกับ ISA Bus อีกช่องหนึ่ง

2. Local bus VGA 486 มีแผ่นวงจรต่อโดยตรงกับ processor INTEL-486 อย่างไรก็ดีตาม ก็ยังมีสัญญาณบางอย่างที่ไม่รวมอยู่ในช่องเสียบของ local bus เป็นต้นว่า สัญญาณ BS16 และ BS8 ต้องต่อจาก dynamic bus ผ่านมาทางวงจร flip-flop เพื่อลดขนาดสัญญาณลงมาเป็น 16 หรือ 8 บิต (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 2

3. VL-Bus local bus VGA บัซชนิดนี้มีวิธีการทำงานคล้ายกับ OPTi local bus มาก คือมี 16 บิต Micro Channel connector และ 16 บิต ISA bus connector ต่อกับ CPU โดยตรง แล้วใช้ VL-Bus VGA adapter วางแทนที่ EISA edge connector เป็น VL-Bus แทน ข้อแตกต่างระหว่าง OPTi และ VL-Bus คือ VL-Bus cycle ยังไม่จบ จนกว่าจะได้รับสัญญาณ Ready Return Low เป็นการหน่วงเวลาให้ทำงานพร้อมกันกับ Bus ปกติของระบบ ดูรูปที่ 3



รูปที่ 3

2.6 อุปกรณ์การทดลอง

ผู้เขียนใช้อุปกรณ์การทดลองดังต่อไปนี้ :-

2.6.1 ระบบ ISA BUS

2.6.1.1 Mainboard มี CPU แบบ Intel-486-DX ของบริษัท SIS มีความเร็วนาฬิกา 33 MHz. มีหน่วยความจำหลัก 8 MB.

2.6.1.2 Monitor Card แบบ Super VGA ไม่ระบุบริษัทผู้ผลิต

2.6.1.3 Hard Disk, Floppy Disk & I/O Controller ไม่ระบุบริษัทผู้ผลิต

2.6.1.4 Display CRT ของบริษัท TVM รุ่น Low Radiation 3A หมายเลข 27473840

ขนาดจอภาพ

14”

2.6.1.5 Operating System คือ DOS version 6.0 ของบริษัทไมโครซอฟท์

2.6.1.6 Windows version 3.1 ของบริษัทไมโครซอฟท์

2.6.2. ระบบ VESA BUS

2.6.2.1 Mainboard แบบ Local bus 2 ช่อง ใช้ CPU แบบ Intel-486-DX2/66 ของบริษัท OPTi มีความเร็วนาฬิกา 66 MHz. มีหน่วยความจำหลัก 8 MB.

2.6.2.2 Graphics Accellerator card รุ่น VGA-805-V, DOC: 12010, S/N : VGA 248690,

Board Model ML-G, มี flat RAM on board 2 MB.

2.6.2.3 Hard disk, Floppy Disk & I/O Controller รุ่น FCC ID : H9NDI-600 REV. 1.0 ของ UMC.

2.6.2.4 Display CRT ของบริษัท LEO รุ่น 1766, Serial No. DM-12093 ขนาดจอภาพ 17”

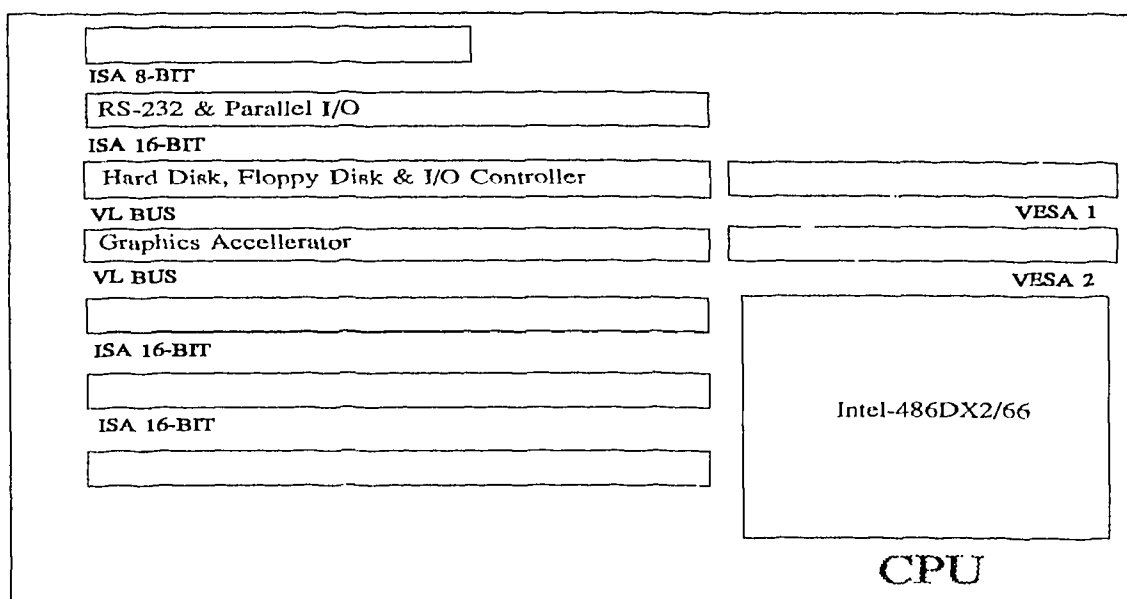
2.6.2.5 Hard Disk Drive ของ บริษัท MAXTOR ขนาดความจุข้อมูล 245 MB.

2.6.2.6 Operating System คือ DOS version 6.20 ของบริษัทไมโครซอฟท์

2.6.2.7 Windows version 3.1 ของบริษัทไมโครซอฟท์

ลักษณะของ local bus บนเมนบอร์ดแสดงในรูปที่ 4.

ลักษณะของ local bus บนเมนบอร์ดแสดงในรูปที่ 4.



รูปที่ 4 การวางแผนวงจรบนเมนบอร์ด

3. ผลการศึกษาวิจัย

จากการทดสอบเพิ่มข้อมูลประเภทต่างๆ ปรากฏผลตามตารางที่ 1.

ตารางที่ 1 แสดงเวลาที่ใช้น VESA BUS เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้น ISA BUS

ชื่อแฟ้ม	เวลาที่ใช้น VESA BUS (นาที : วินาที)	เวลาที่ใช้น ISA BUS (นาที : วินาที)	ความยาวแฟ้ม (bytes)
UBOL.CDR	1 : 03	1 : 55	160,816
VUTICHA1.CDR	1 : 10	2 : 00	171,572
LOCALFG3.CDR	00 : 25	00 : 30	70,998
TEST2.GIF	00 : 24	3 : 30	528,066
BLUEPERL.TIF	00 : 38	00 : 58	585,468
SPAINGIR.GIF	< 0 : 01	00 : 40	82,000
SPAINGIR.BMP	00 : 03	5 : 25	815,078
MALIRIN.GIF	00 : 01	1 : 22	185,203

4. บทวิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดลองอ่านแฟ้มข้อมูลหลายๆแบบ จะสังเกตได้ว่าแฟ้มข้อมูลที่มาจาก Coreldraw อาทิ UBOL.CDR เป็นแฟ้มข้อมูลกราฟฟิกส์แบบเวกเตอร์จะให้ผลการแสดงภาพรวดเร็วไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนข้อมูลแบบ picture อาทิ TEST2.GIF และ SPAINGIR.GIF ผลคือ VESA Bus ทำงานได้เร็วกว่า ISA Bus 8-40 เท่า และข้อมูลแบบ bitmap โดยตรง จะให้ผลแตกต่างถึง 100 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีทำงานสร้างภาพของซอฟต์แวร์และความยาวของแฟ้มข้อมูลด้วย ดังนั้นจึงสรุปผลได้ว่าการใช้ VESA Bus หรือ VL Bus เป็นระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์แบบประหยัดได้ผลดีน่าพอใจ

5. บรรณานุกรม

1. U.S.A., Melvin L. Prueitt, COMPUTER GRAPHICS, 118 Computer-Generated Designs, Dover Publications, Inc., Newyork, Copyright 1975.
2. U.S.A., Hill, F. S., Jr., COMPUTER GRAPHICS, Macmillan Publishing Company, New York, NEW YORK.
3. Jeff Gauvin, LOCAL -BUS VIDEO ADAPTERS BOOST PC GRAPHICS PERFORMANCE, EDN Asia, pp 58-62, February 1993.
4. U.S.A., Ballard, D.H., and C.M. Brown, COMPUTER VISION, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1982.
5. U.S.A., Barnhill, R.E., and R.F. Riesenfeld, COMPUTER AIDED GEOMETRIC DESIGN, Academic Press, New York, 1974.
6. U.S.A., Bartels, R.H., J.C. Beatty, and B.A. Barsky, AN INTRODUCTION TO SPLINES FOR USE IN COMPUTER GRAPHICS AND GEOMETRIC MODELING, Morgan Kaufman Publishers, Inc., Los Altos, Calif., 1987.
7. U.S.A., Blinn J.E., L. Carpenter, J. Lane, and T. Whitted, SCAN-LINE METHODS FOR DISPLAYING PARAMETRICALLY DEFINED SURFACES, Communication of the ACM, pp 23-34, January 1980.
10. U.S.A., Blinn, J.E., and M.E. Newll, CLIPPING USING HOMOGEIOUS COORDINATES ,Computer Graphics, pp. 245-251, 1978.
11. U.S.A., Brodlie, K.W., MATHEMATICAL METHODS IN COMPUTER GRAPHICS AND DESIGN, Academic Press, New York, 1980.
12. U.S.A., Brown, M.D., and M. Heck, UNDERSTANDING PHIGS, Template Corp., 9845 Scranton Rd., San Diego, Calif. 92121, Copyright 1985.
13. U.S.A., Butland, J., SURFACE DRAWING MADE SIMPLE, Computer-aided Design, pp.19-22, January 1979.
14. U.S.A., Carlom, I., and J. Paciorek, PLANAR GEOMETRIC PROJECTIONS AND VIEWING TRANSFORMATION , ACM Computing Surveys, pp.485-502, December 1978.
15. U.S.A., RASTER GRAPHICS HANDBOOK, 2nd. ed., Conrac Corporation, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.

16. U.S.A., Cook, R.L., and K.E. Torrance, A REFLECTANCE MODEL FOR COMPUTER GRAPHICS, pp. 307-313, Computer Graphics, August 1981.
17. U.S.A., Coons, S.A., SURFACES FOR COMPUTER-AIDED DESIGN OF SPACE FORMS, Report MAC-TR-41, Project MAC, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 1967.
18. U.S.A., Coxeter, H.M.S., INTRODUCTION TO GEOMETRY, Wiley, New York, 1961.
19. U.S.A., Cyrus, M., and J. Beck, GENERALIZED TWO- AND THREE-DIMENSIONAL CLIPPING, pp. 23-28, Computers and Graphics, 1978.
20. U.S.A., Faux, I.D., and M.J. Pratt, COMPUTATIONAL GEOMETRY FOR DESIGN AND MANUFACTURE, Horwood/Wiley, New York, 1979.
21. U.S.A., Foley, J.D., and A. Van Dam, FUNDAMENTALS OF INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1983.
22. U.S.A., Gonzalez, R.C., and P. Wintz, DIGITAL IMAGE PROCESSING, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1987.
23. U.S.A., Hausner, M., A VECTOR SPACE APPROACH TO GEOMETRY, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1985.
24. U.S.A., Hopgood, F.R.A., D.A. Duce, J.R. Gallop, and D.C. Sutcliffe, INTRODUCTION TO THE GRAPHICAL KERNEL SYSTEM, Academic Press, New York, 1983.
25. U.S.A., Jones, O., INTRODUCTION TO THE X WINDOW SYSTEM, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1989.
26. U.S.A., Kerlow, I.V., and J. Rosebush, COMPUTER GRAPHICS FOR DESIGNERS AND ARTISTS, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
29. U.S.A., Knuth, D.E., DIGITAL HALFTONES BY DOT DIFFUSION, ACM Transactions on Graphics, pp. 245-273, October 1987.
30. U.S.A., Leavitt, R., artist & computer, Harmony, 1976.
31. U.S.A., Liang, Y.D., and B. Barsky, A NEW CONCEPT AND METHOD FOR LINE CLIPPING, ACM Transactions on Graphics, pp. 1-22, January 1984.
32. U.S.A., McGregor, J., and A. Watt, THE ART OF GRAPHICS, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1986.
33. U.S.A., Newman, W.M., and R.F. Sproull, PRINCIPLES OF INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS, McGraw-Hill, New York, 1979.
34. U.S.A., O'Reilly, T., V. Quercia, and L. Lamb, THE X WINDOWS SYSTEM USER'S

GUIDE, Vol. 3, O'Reilly and Assoc., Newton, Mass., 1988.

35. U.S.A., Penna M., and R. Patterson, PROJECTIVE GEOMETRY AND ITS APPLICATIONS TO COMPUTER GRAPHICS, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1986.

36. U.S.A., Pike, R., GRAPHICS IN OVERLAPPING BITMAP LAYERS, Computer Graphics, pp. 331-356, July 1983.

37. U.S.A., Rogers, D., PROCEDURALELEMENTS FOR COMPUTER GRAPHICS, McGraw-Hill, New York, 1985.

38. U.S.A., Scheifler, R.W., and J. Gettys, THE X WINDOWS SYSTEM, ACM Transactions on Graphics, pp. 79-109, April 1986.

39. U.S.A., Dave Bursky, Dream Machines Come Closer to Reality, Electronic Design, pp. 63-72, January 7, 1993.

40. Morris Grossman, Modelling reality, IEEE SPECTRUM, special issue, Super-computer, pp. 56-60, September 1992.

41. พูลศิริ อิงตระกูล, คอมพิวเตอร์ยุคใหม่, ข่าว พปส. หน้า 25-26, ฉบับที่ 1, ปีที่ 9, มกราคม - มีนาคม 2537.

42. Christop Blum, Georg Rainer Hofmann, and Detlef Kromker, Requirement for the first International Imaging Standard, IEEE Computer Graphics and applications, pp. 61-70, March 1991.

44. พูลศิริ อิงตระกูล, คอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์กับงานวิจัย, ข่าว พปส., ฉบับที่ 3, ปีที่ 9, กรกฎาคม - กันยายน 2537.