บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องอ่านตัวอักษร

3.1 OCR คืออะไร

OCR คือเครื่องอ่านตัวอักษรโดยใช้หลักการสะท้อนของแสง ทั่ว ๆ ไปอักษรที่จะอ่านจะพิมพ์อยู่บนกระดาษ OCR เริ่มพัฒนา ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 โดย D.H. Shepard ใช้อ่านอักษรตัวพิมพ์ดีด แต่ได้มีการผลิตเพื่อการค้าโดยบริษัท IBM ในปี ค.ศ. 1960 โดยใช้ชื่อว่า 1418 document reader โดยตัวเครื่อง OCR นี้จะใช้ต่อออนไลน์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM 1401

ชนิดของ OCR [26] ที่ผลิตเพื่อการค้าจะแบ่งประเภทตามแบบฟอร์มของข้อมูลบนกระดาษ มีประเภทต่าง ๆ ดังนี้

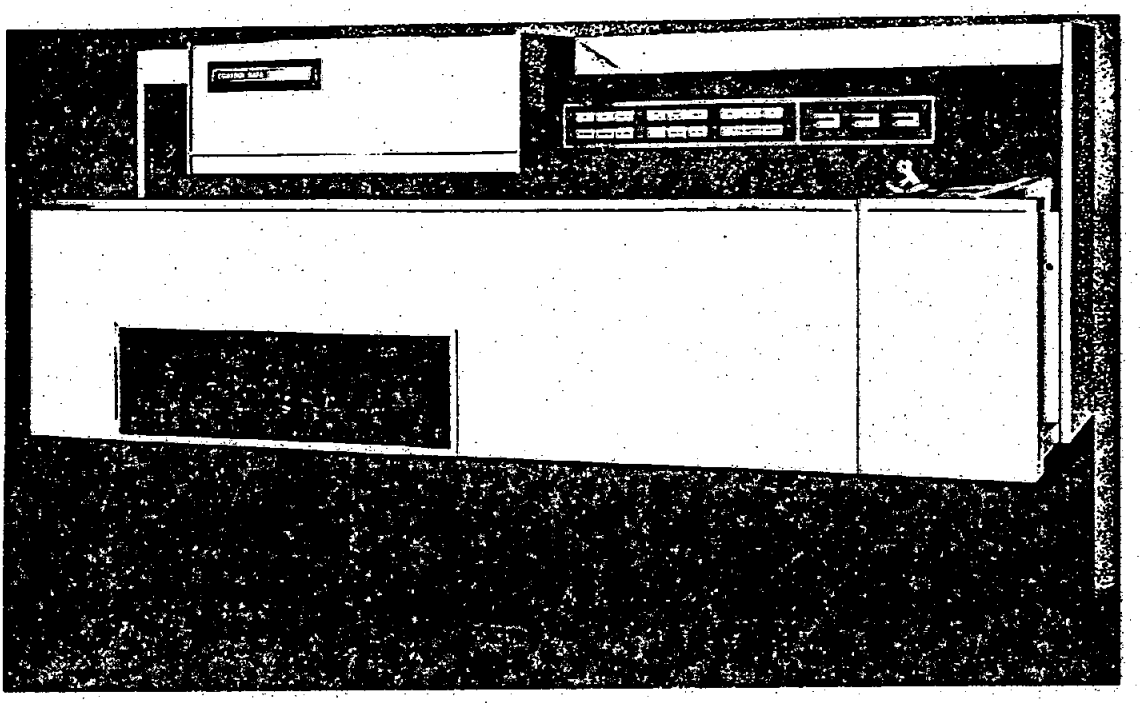
ก. document readers สามารถอ่านข้อมูลหนึ่งถึงห้าบรรทัดในตำแหน่งที่แน่นอน ในการเลื่อนกระดาษเพียงครั้งเดียว

ข. page readers สามารถอ่านข้อมูลได้หลายบรรทัดในการผ่านกระดาษเพียงครั้งเดียว

ค. journal tape reader มีอุปกรณ์เพิ่มเติมในการม้วนกระดาษเข้าลูกกลิ้งก่อนจะอ่าน

ง. multipurpose reader สามารถอ่านข้อมูลได้หลายแบบ แบบฟอร์ม, หลายแบบตัวอักษร

ตัวอย่างเครื่อง OCR ที่มีการผลิตเพื่อจำหน่าย เช่น CDC 915 page reader แสดงลักษณะภายนอกในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะภายนอกของ CDC 915 page reader

3.2 เทคนิคการอ่านข้อมูลด้วยแสง (optical scanning)

เทคนิคในการเปลี่ยนข้อมูลจากตัวอักษรให้เป็นข้อมูลไฟฟ้า ด้วยแสงมีด้วยกันหลายวิธี เช่น แมคคานิคส์ดิสค์ (mechanical disk) ฟลายอิงสปอต (flying spot) โฟโต-เซล (photocell) วิดิคอน (vidicon) เป็นต้น

3.2.1 แมคคานิคส์ดิสค์ (13)

โดยอาศัยแสงจากแหล่งกำเนิดส่องไปยังตัวอักษร ทำให้เกิดการสะท้อนมายังเลนส์ ซึ่งด้านหลังเลนส์จะมีช่อง (slit) เพื่อทำการอ่านเฉพาะ บางส่วนของตัวอักษร หลังช่องจะมีจานหมุนซึ่งมีรูเจาะไว้เป็นลักษณะก้นหอย ซึ่งเมื่อจานหมุนครบจังหวะจะอ่านข้อมูลเข้ามาเป็นลำดับของลักษณะการกวาดตามแนวดิ่ง (vertical raster) การอ่านอักษรจะครบถ้วนเมื่อเลื่อนตำแหน่งตัวอักษรผ่านช่องครบทั้งตัว โครงสร้างแมคคานิคส์ดิสค์ แสดงในรูปที่ 3.2 และลำดับของการกวาดข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.3

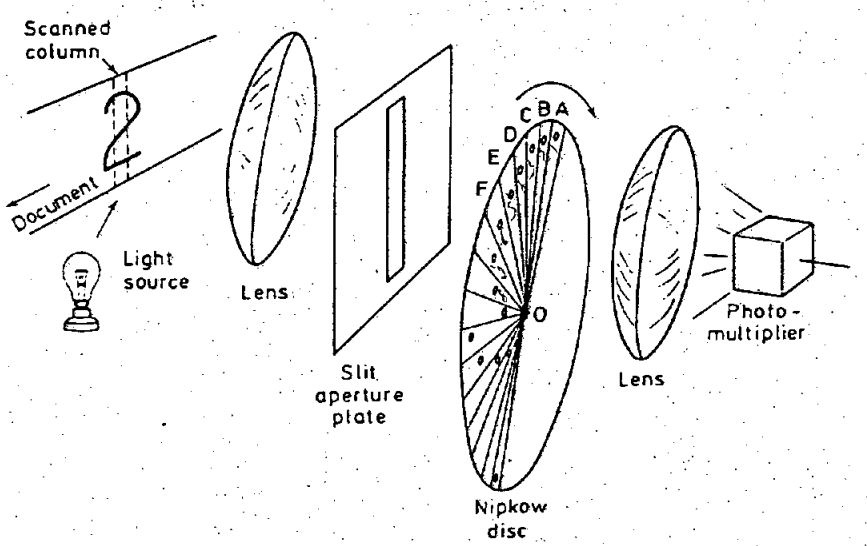


Figure 2.1. *A Nipkow disc scanner*

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างการอ่านข้อมูลแบบ แมคคานิคส์ดิสค์

1	9	17	25	33
2	10	18	26	34
3	11	19	27	35
4	12	20	28	36
5	13	21	29	37
6	14	22	30	38
7	15	23	31	39
8	16	24	32	40

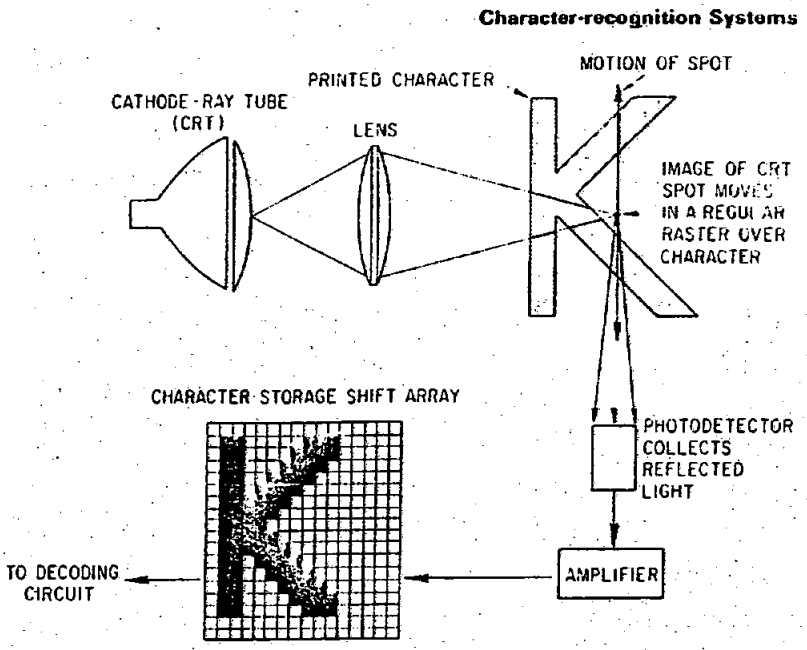
Figure 2.2. *Vertical raster sequence*

รูปที่ 3.3 แสดงลำดับของการกวาดข้อมูล

การอ่านข้อมูลแบบ แมคคานิคส์ดิสค์มีอัตราช้ากว่าแบบอื่น ๆ (400 ถึง 500 ตัวอักษรต่อวินาที) แต่มีข้อดีในเรื่องความทนทานและราคาถูก เหมาะสำหรับใช้กับการอ่านซึ่งรู้แน่นอนถึงตำแหน่งของตัวอักษรบนกระดาษ ตัวอย่างเครื่องใช้การอ่านแบบนี้ ได้แก่ IBM 1418 และ 1428[28]

3.2.2 ฟลายอิงสปอต[27]

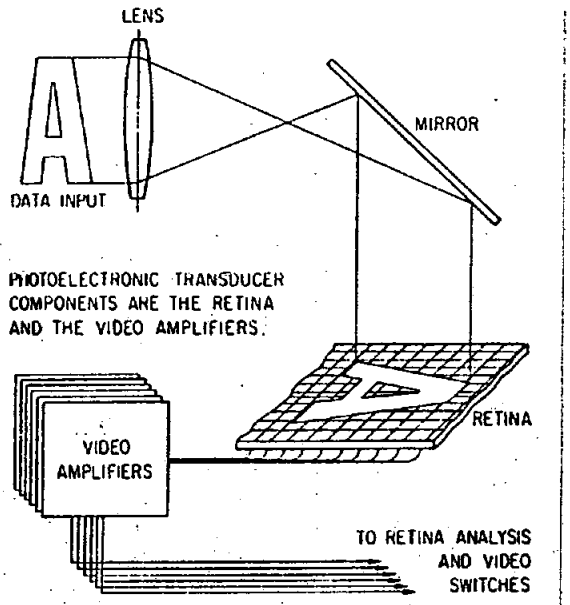
อาศัยหลอดคาโทดเป็นตัวกำเนิดลำแสงส่องผ่านเลนส์ซึ่งจะโฟกัสให้แสงเป็นจุดวิ่งผ่านบนกระดาษ เพื่อหาตำแหน่งตัวอักษรหลังจากนั้นจึงจะสแกนอ่านตัวอักษร ความเข้มของแสงซึ่งสะท้อนจะถูกวัดและถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลไฟฟ้า โดยตัวโฟโตดีเทคเตอร์ และวงจรขยายสัญญาณ โครงสร้างแบบฟลายอิงสปอต แสดงในรูปที่ 3.4 การอ่านข้อมูลแบบฟลายอิงสปอตมีอัตราการอ่านข้อมูลปานกลาง (1,000 ถึง 2,000 ตัวอักษรต่อวินาที) ข้อดีของการอ่านข้อมูลแบบนี้ คือ ตำแหน่งตัวอักษรบนกระดาษไม่จำเป็นต้องรู้ ตัวกวาดข้อมูลจะสามารถหาตำแหน่งข้อมูลภายในเนื้อที่ 6 นิ้ว x 6 นิ้วได้ โดยปราศจากการเลื่อนตำแหน่งกระดาษโดยกลไกทางแมคคานิคส์ ตัวอย่างเครื่องใช้การอ่านแบบนี้ ได้แก่ IBM 1287 IBM 1975[29]



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างการอ่านข้อมูลแบบฟลายอิงสปอต

3.2.3 โฟโตเซล[27]

แสงจากแหล่งกำเนิดที่ส่องไปยังตัวอักษรจะสะท้อนภาพลงบนแผงโฟโตเซล ซึ่งอาจมีการเรียงเป็นคอลัมน์ (เพื่ออ่านที่ละส่วน) หรือเป็นแบบตาราง เพื่ออ่านครบทั้งตัว โครงสร้างแบบโฟโตเซล ซึ่งใช้แผงโฟโตแบบตาราง ซึ่งเรียกว่า เรตินา (retina) แสดงในรูปที่ 3.5 อัตราการอ่านข้อมูลโดยวิธีนี้อยู่ในช่วง 2,400 ถึง 3,600 ตัวอักษรต่อวินาที



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 แสดงการอ่านข้อมูลแบบโฟโตเซล

3.2.4 วิดิคอน[13,17]

แบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในงานวิจัยหรืองานเฉพาะอย่าง เนื่องจากมีราคาถูก มีความละเอียดสูง (high resolution) การนำไปสร้างเป็นระบบอ่านตัวอักษรหรือภาพทำได้ง่าย อาศัยหลักการแสงสะท้อนจากตัวอักษรจะถูกโปรเจคลงผิวหน้าของหลอดรับภาพซึ่งภาพที่ได้จะถูกควอนไทซ์ (quantize) เป็นสัญญาณภาพซึ่งสามารถแสดงระดับสีดำและขาว ข้อเสียคือ จำนวนตัวอักษรที่จะสามารถโปรเจคลงพื้นที่ผิวหน้าหลอดภาพได้มีไม่กี่ตัว

3.3 การพัฒนา OCR แบบใช้กล้องวิดิคอน

3.3.1 เหตุผลที่ใช้กล้องวิดิคอน

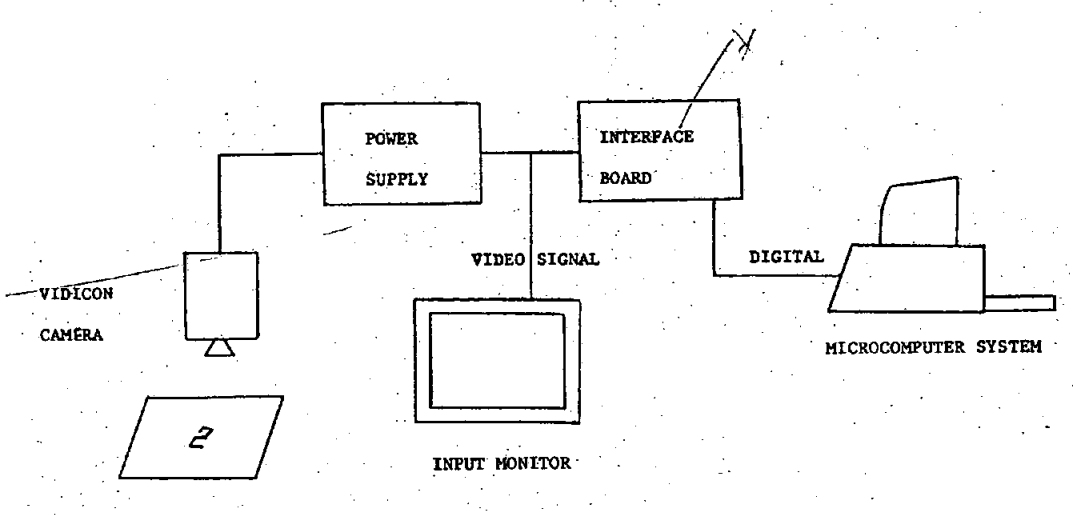
เนื่องจากเป้าหมายการออกแบบเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการศึกษา ดังนั้นการออกแบบสร้างจะเน้นหนักในเรื่อง สร้างได้โดยง่าย, ความเชื่อถือได้ ตลอดจนราคาอุปกรณ์ จะเห็นได้ว่ากล้องวิดิคอนในปัจจุบันมีราคาไม่แพงนัก เมื่อนำมาสร้างเป็นเครื่อง OCR ก็เพียง

แต่เพิ่มอุปกรณ์เชื่อมโยง (interface) กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ก็สามารถได้ OCR อย่างง่าย ๆ ได้ เมื่อเทียบกับ OCR ที่ใช้อุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 จะเห็นได้ว่า แบบกล้องวิดิคอนสามารถสร้างได้ง่ายในเวลาที่เร็วกว่าแบบอื่น ๆ เนื่องจากไม่มีส่วนกลไก การสร้างเพียงแต่เพิ่มอุปกรณ์เชื่อมโยงเพียงชิ้นเดียว ทำให้ความเชื่อถือได้ในการสร้างขึ้นใช้ดีกว่าแบบอื่น ๆ ถ้าต้องการให้ภาพตัวอักษรมีความละเอียดสูงขึ้นทำได้โดยการซื้อกล้องแบบที่มีความละเอียดสูง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนากล้องแบบ CCD ซึ่งนับวันจะมีราคาถูกลง และมีความละเอียดสูงขึ้น

3.3.2 หลักการและแผนภูมิของระบบ

ระบบ OCR ที่ออกแบบสร้าง สามารถเขียนแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วย

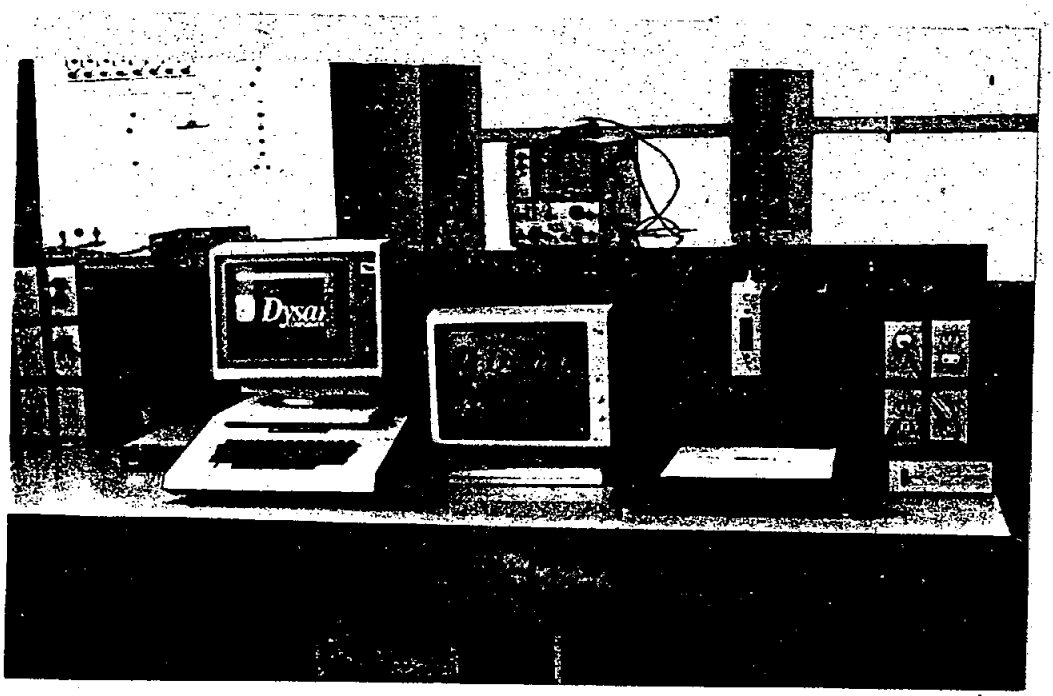
- ชุดกล้องวิดิคอนซึ่งประกอบด้วยตัวกล้องและแหล่งจ่ายไฟ
- จอมอนิเตอร์สำหรับแสดงภาพที่ถ่ายจากกล้องวิดิคอน
- ส่วนอินเตอร์เฟสบอร์ด
- ชุดไมโครคอมพิวเตอร์ อันประกอบด้วยจอภาพ คีย์บอร์ด ซีพียู ดิสค์ไดรฟ์



รูปที่ 3.6 แสดงแผนภูมิ OCR ที่สร้าง

ส่วนประกอบของระบบมีหน้าที่ดังต่อไปนี้ ตัวกล้องวิดิคอนทำหน้าที่อ่านภาพตัวอักษร กำเนิดสัญญาณภาพ (video signal) ซึ่งต่อกับ แหล่งจ่ายไฟของตัวกล้อง ส่งสัญญาณภาพต่อไปยังส่วนอินเตอร์เฟสบอร์ดจออินพุทมอนิเตอร์ทำหน้าที่แสดงรูปภาพที่อ่านโดยตรงจากกล้องวิดิคอนโดยการต่อสายสัญญาณเข้ากับส่วนอินพุทของส่วนอินเตอร์เฟส ส่วนอินเตอร์เฟสทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิตอลป้อนให้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ทั้งยังคอยรับสัญญาณควบคุมการอ่านตำแหน่งภาพจากตัวไมโครคอมพิวเตอร์ด้วย

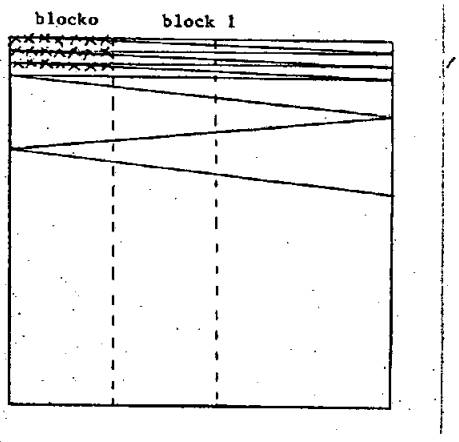
ในการสร้าง OCR สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ได้เลือกใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ APPLE II ซึ่งเป็นเครื่องที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายและมีอยู่ในห้องวิจัยด้วย ตัวกล้องวิดิคอนใช้ของ SONY รุ่น CH-1400CE ซึ่งเป็นกล้องขาวดำ แบบ automatic sensitivity ใช้กับแสงในช่วง 100 ถึง 100,000 ลักส์ รายละเอียดตัวกล้องแสดงไว้ในภาคผนวก ก. กล้องวิดิคอน ถูกติดตั้งบนฐานเครื่องขยายรูปซึ่งตัวระบบ OCR ที่สร้างขึ้นแสดงภาพถ่ายในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงระบบ OCR ที่สร้างขึ้น

3.3.3 การออกแบบอินเตอร์เฟสบอร์ด

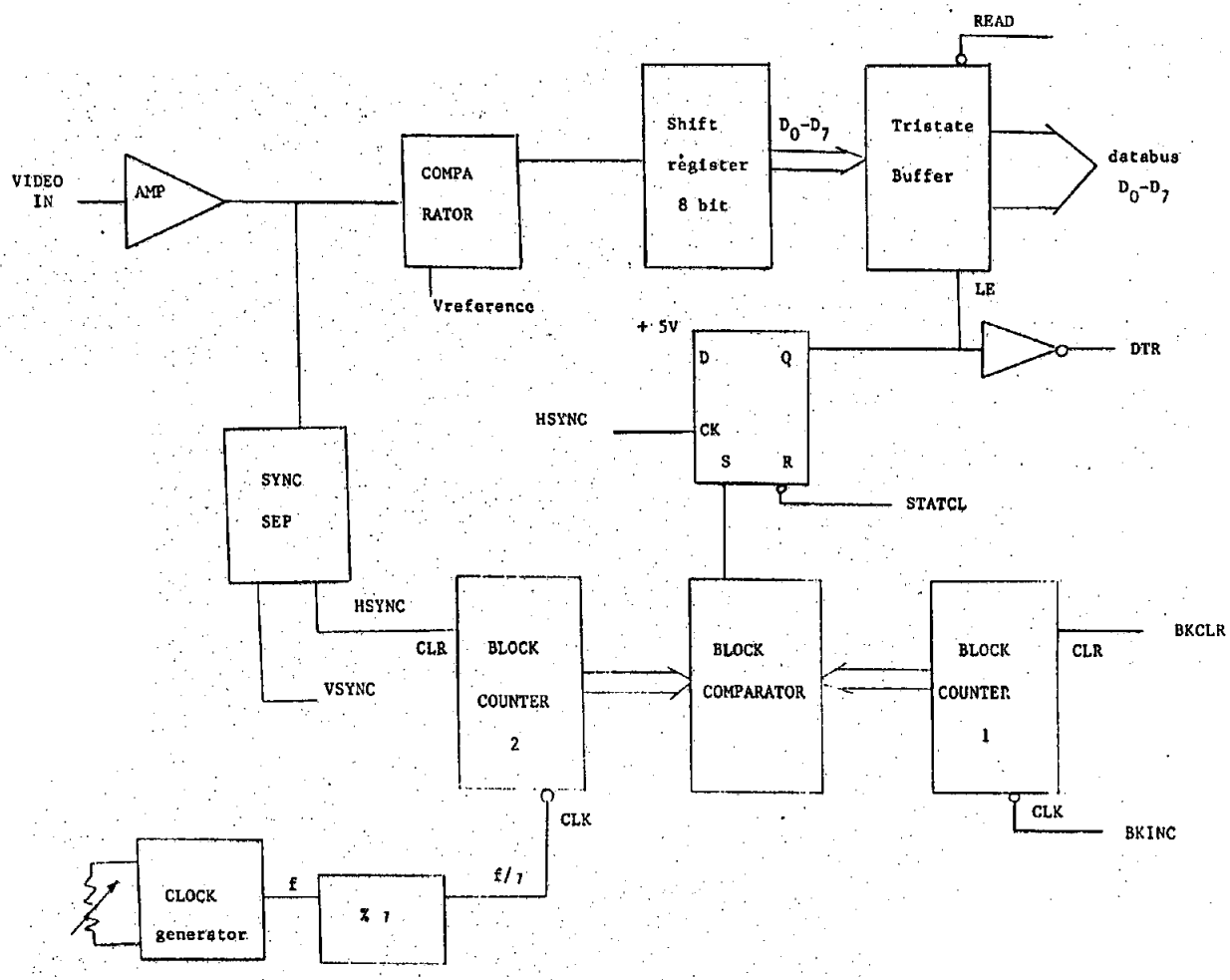
การที่จะเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิตอลได้เราต้องสร้างส่วนอินเตอร์เฟส (30) กับกล้องวิดิคอนวิธีในการสุ่มข้อมูลจากสัญญาณภาพแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีในการสุ่มข้อมูลจากสัญญาณภาพ

โดยการอ่านข้อมูลจากสัญญาณภาพเป็นบล็อก (block) แต่ละบล็อกจะประกอบด้วยจุดภาพย่อย ๆ การอ่านข้อมูลจะเริ่มจากสัญญาณภาพเส้นแรกทำการอ่านข้อมูลที่ละเส้น ๆ ละ 1 บล็อก อ่านจนถึงเส้นสุดท้าย เมื่ออ่านจนถึงเส้นสุดท้าย จะได้ข้อมูลครบบล็อกแรก หลังจากนั้นจะเริ่มอ่านข้อมูลภาพบล็อกถัด ๆ มา ทำแบบเดียวกันไปเรื่อย ๆ จนครบทุกบล็อกเราก็จะได้ข้อมูลครบตามที่ต้องการ เนื่องจากการสแกนของข้อมูลภาพในแต่ละเส้นกินเวลา 64 usec. ดังนั้น แต่ละเส้นจะมีเวลาในการประมวลผลขบวนการอ่านข้อมูลบล็อกไม่เกิน 64 usec.

จากหลักการที่กล่าวมาเราสามารถออกแบบฮาร์ดแวร์อินเตอร์เฟสบอร์ดมีแผนภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภูมิของส่วนอินเตอร์เฟส

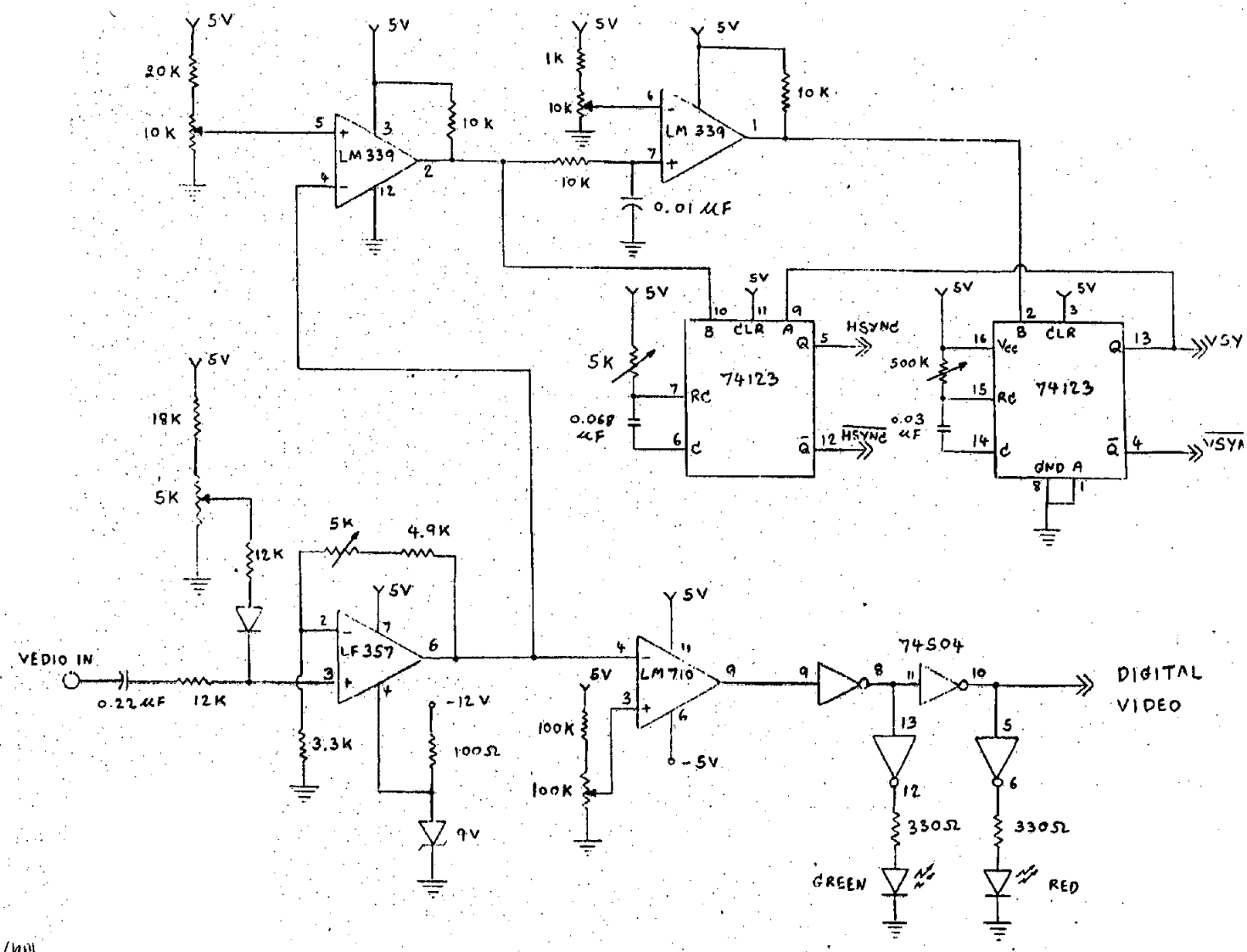
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานของส่วนต่าง ๆ มีดังนี้ ส่วน SYNC.SEP ทำหน้าที่แยกสัญญาณซิงค์จากสัญญาณภาพ ซึ่งจะได้เป็น Vsync และ Hsync วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (analog comparator) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิตอล 2 ระดับ ซึ่งสามารถปรับจุดดีเทคได้ ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จะถูกเรียงเป็นข้อมูลขนานป้อนให้กับตัวบัฟเฟอร์สามสถานะ (tristate buffer) อีกทีหนึ่ง ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (clock generator) เป็นตัวกำหนดอัตราการสุ่มข้อมูล (sampling rated) จะเห็นว่าความถี่ที่กำเนิดขึ้นจะถูกหารด้วย 7 ก่อนป้อนเป็นสัญญาณให้แก่ตัวนับบล็อกเคาร์เตอร์เบอร์ 2 ตัวเลข 7 คือจำนวนจุดข้อมูลในแต่ละบล็อก (เนื่องจากเครื่อง APPLE ข้อมูลภาพ 1 ไบต์มี 7 จุดภาพ) ตัวเปรียบเทียบตำแหน่งบล็อก (block comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบว่าตำแหน่งบล็อกที่ต้องการอ่าน (เซ็ทที่ตัวบล็อกเคาร์เตอร์เบอร์ 2) ตรงกับตำแหน่งบล็อกของข้อมูลภาพ (แสดงที่ตัวนับบล็อกเบอร์ 1) หรือไม่ ถ้าตรงกันจะเกิดสัญญาณทริกส่งไปยังตัวดีฟลิปฟลอบ เพื่อส่งเลทช์ข้อมูลในตัวบัฟเฟอร์สามสถานะ วงจรที่ออกแบบสร้างแสดงอยู่ในรูปที่ 3.10 และ 3.11

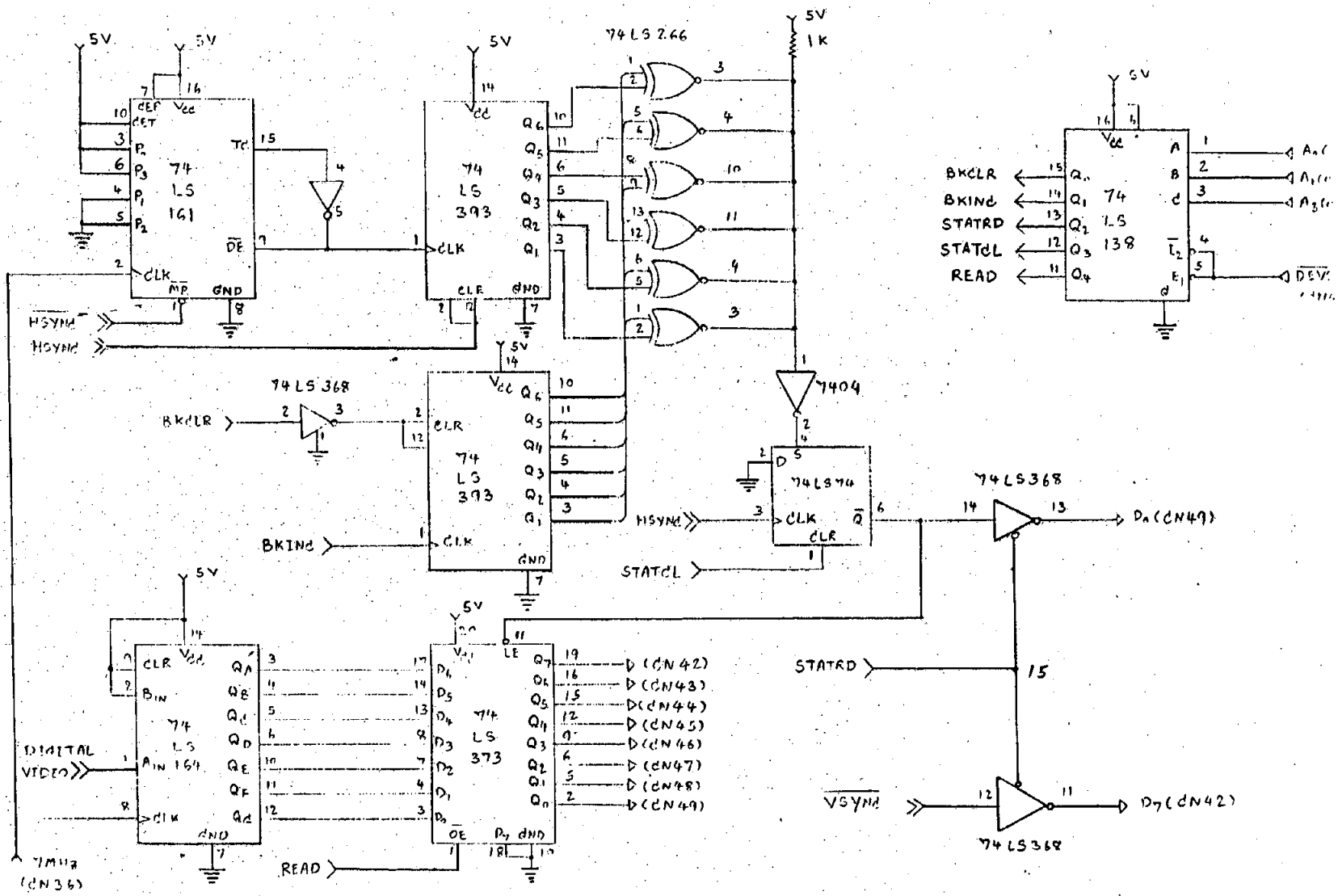
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรส่วนเปรียบเทียบแรงดันและ SYNC.SEP โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะใช้ IC LM710[34] ส่วนวงจร SYNC.SEP จะใช้ IC เบอร์ LM339 ต่อเป็นวงจรแยกซิงค์[35]

รูปที่ 3.11 แสดงส่วนประกอบที่เหลือ โดยใช้ LS393 เป็นตัวนับบล็อก และ LS266 เป็นตัวเปรียบเทียบตำแหน่งบล็อก ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะใช้ความถี่ 7 MHz โดยต่อจากสัญญาณ 7M ขาที่ 36 บนสล็อตเครื่อง APPLE II

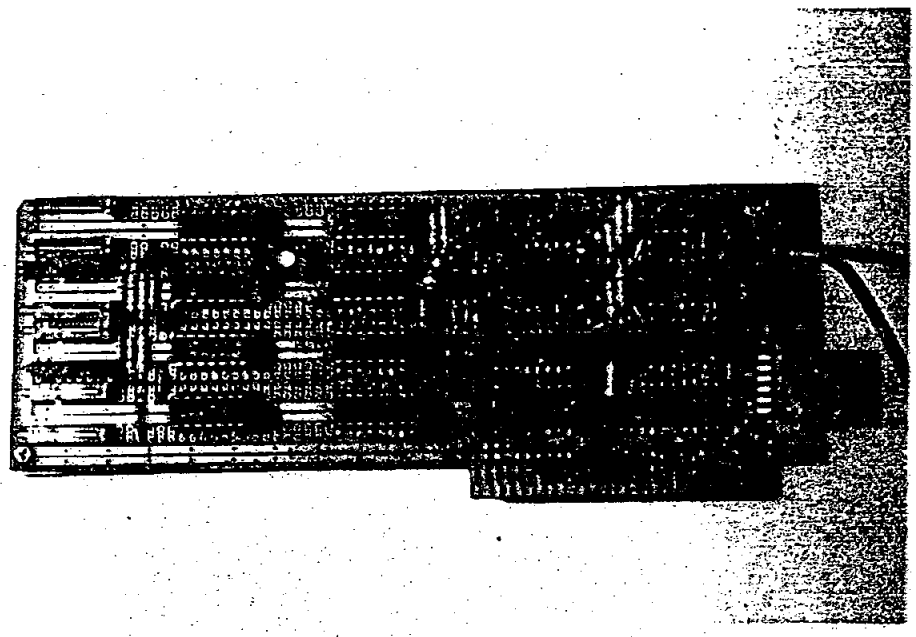
รูปบอร์ดอินเตอร์เฟสที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรส่วนอินเตอร์เฟส



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรส่วนอินเตอร์เฟส (ต่อจากรูปที่ 3.10)

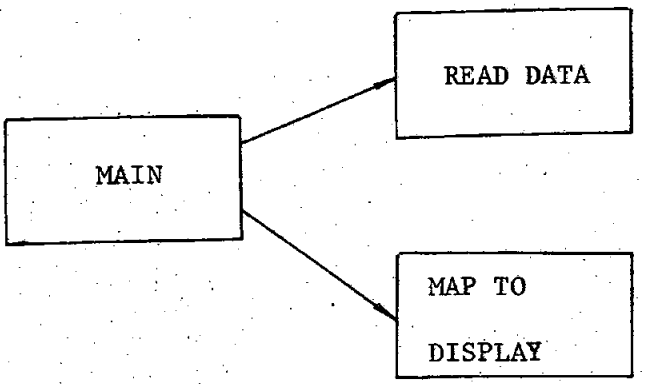


รูปที่ 3.12 แสดงรูปบอร์ดอินเตอร์เฟสที่สร้างขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.4 โปรแกรมการควบคุมวงจรอินเตอร์เฟสและแสดงผล

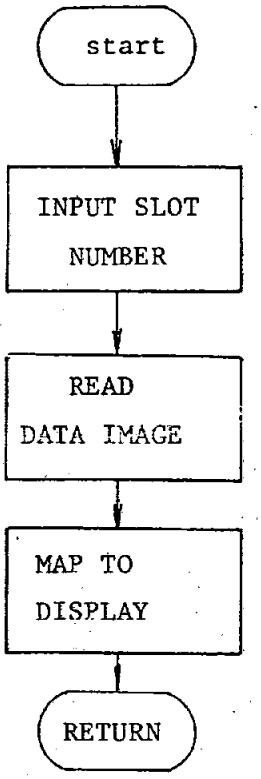
โปรแกรมในส่วนควบคุมอินเตอร์เฟสมีหน้าที่ควบคุมการอ่านข้อมูลจากสัญญาณภาพ นำไปเก็บในหน่วยความจำหรือแผ่นข้อมูลและแสดงผลรูปภาพที่อ่านได้ออกทางจอ ดังแสดงส่วนประกอบของโปรแกรมในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบของโปรแกรมควบคุมวงจรอินเตอร์เฟสและแสดงผล

โดยในส่วนโปรแกรมหลัก (main program) เขียนด้วยภาษาเบสิกแต่ส่วนโปรแกรมย่อยทั้งสองส่วน จะเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี 6502

- โปรแกรมหลัก จะเป็นโปรแกรมควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมย่อยทั้ง 2 ส่วน พร้อมกับการโต้ตอบกับผู้ใช้ เช่น ถามตำแหน่งช่องที่เสียบ แผ่นวงจรอินเตอร์เฟสไฟลว์ชาร์ทในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงโฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมหลักในส่วนควบคุมวงจรอินเตอร์เฟส และแสดงผล

- โปรแกรมอ่านข้อมูลจากกล้องวิดิคอน มีโฟลว์ชาร์ทแสดงในรูปที่ 3.15 มีการทำงานดังนี้คือ เริ่มต้นจะกำหนดค่าต่างๆที่จะใช้ภายในโปรแกรม เช่น เซ็ทแอดเดรสตัวไหนเป็นตัวนับเส้น ตัวนับบล็อก เป็นต้น หลังจากนั้นจะทำการเช็คว่าข้อมูลถัดไปเป็นข้อมูลในฟิลด์คู่หรือไม่ ในโปรแกรมเราจะอ่านข้อมูลในฟิลร์เดิมทุกครั้งจนครบทุกบล็อกตามต้องการ ซึ่งเราจะเลือกอ่านเฉพาะฟิลด์คู่เท่านั้น หลังจากนั้นจะทำการตรวจว่าข้อมูลพร้อมจะให้อ่านหรือยังถ้าพร้อมแล้วจะอ่านเก็บลงในหน่วยความจำ เรียงตามลำดับการอ่าน หลังจากนั้นจะตรวจสอบว่าอ่านครบทุกเส้นในบล็อกนั้นหรือยัง ถ้ายังจะทำการเพิ่มค่าตัวนับบล็อก ทำการอ่านในขบวนการเดิมเรื่อย ๆ จนครบทุกบล็อกที่ต้องการ

สัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรม ได้แก่ (ดูรูปที่ 3.9)

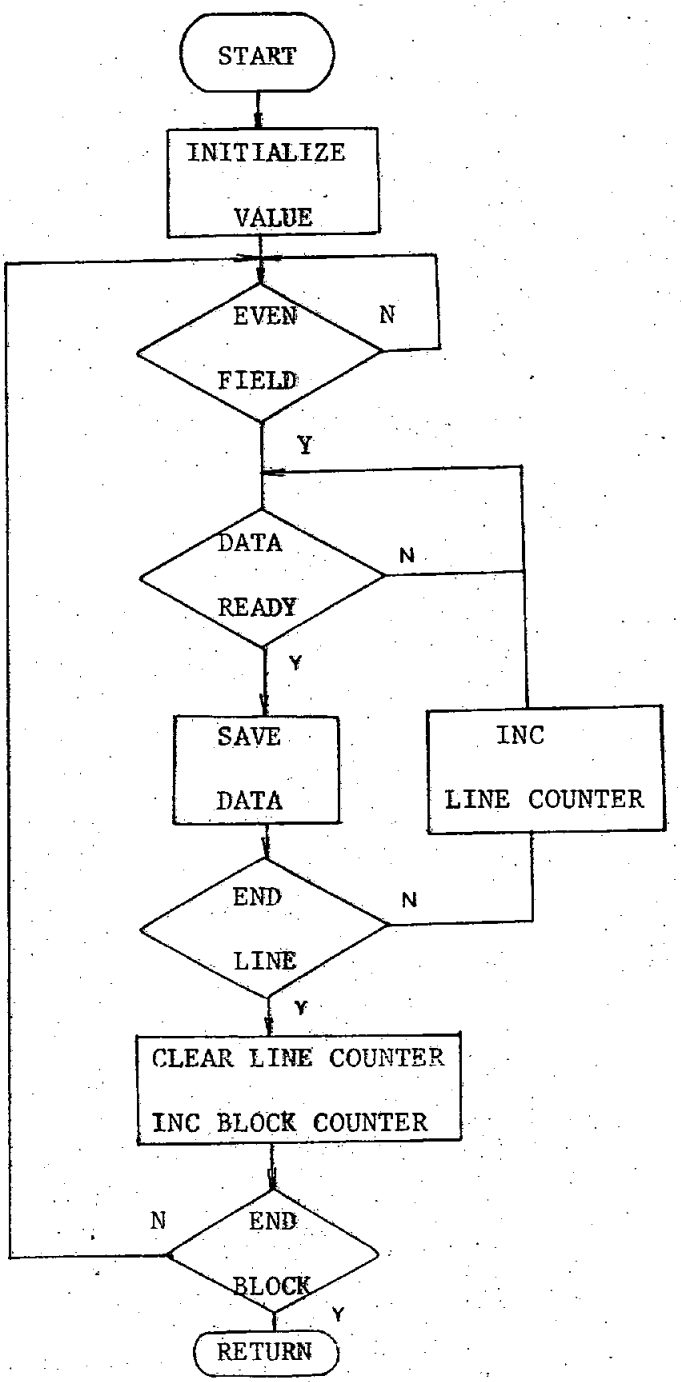
1. VSYNC บอกจุดเริ่มต้นในแต่ละฟิลด์
2. READ ใช้สั่งให้ตัวบัฟเฟอร์สามสถานะส่งข้อมูลออกทางบัสข้อมูล

3. DTR บอกสภาวะข้อมูลภาพเก็บอยู่ในตัวบัฟเฟอร์สามสถานะรอการอ่าน

4. STATCL ใช้สั่งเคลียร์สัญญาณ

5. BKCLR ใช้สั่งเคลียร์ตัวนับบล็อก

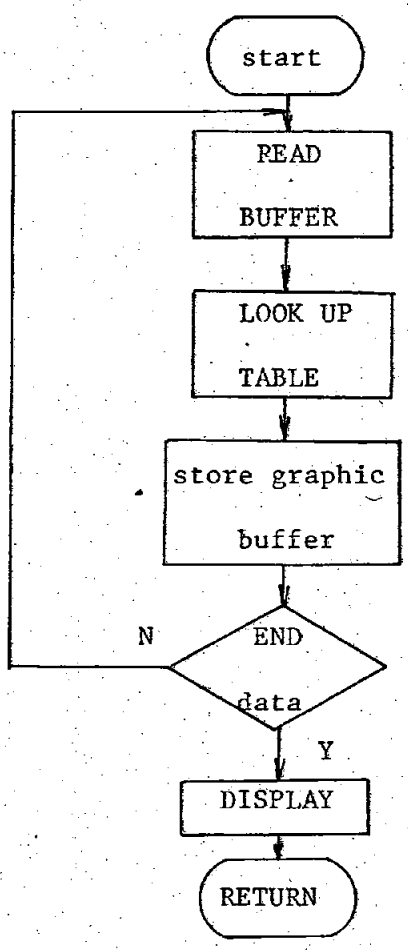
6. BKINC ใช้สั่งเพิ่มค่าตัวนับบล็อก



รูปที่ 3.15 แสดงโฟลว์ชาร์ทการอ่านข้อมูลภาพ

- โปรแกรมแสดงผล มีโฟลว์ชาร์ทแสดงในรูปที่ 3.16 การทำงานดังนี้คือ จะอ่านข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ จากขบวนการอ่านข้อมูลจากกล้อง หลังจากนั้นจะเปิดตารางแอดเดรสของจอกราฟิก (HGR 1 ในเครื่อง APPLE) เพื่อหาตำแหน่งที่แท้จริงในการแสดงผล หลังจากนั้นจะเก็บลงในตำแหน่งนั้น และเริ่มขบวนการซ้ำแบบเดิมโดยอ่านข้อมูลในตำแหน่งถัดลงมา ทำจนกว่าจะอ่านครบทุกตำแหน่ง หลังจากนั้นตัวโปรแกรมจะสั่งสวิตช์ไปยังโหมดกราฟิก เพื่อแสดงภาพที่อ่าน

List ของโปรแกรมได้แสดงไว้แล้วในภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.16 แสดงโฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมแสดงผล

3.4 การทดสอบ OCR ที่สร้างขึ้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีเพิ่มกำลังขยายของกล้อง ความละเอียดของกล้อง การทดสอบความเป็นเชิงเส้น พร้อมกับแสดงตัวอย่างอักษรที่อ่าน

3.4.1 ระยะกล้องกับตัวอักษร

เลนส์ที่ติดมากับกล้องวิดีคอนของ SONY เป็นเลนส์แบบปรกติซึ่งสามารถถ่ายภาพใกล้ที่สุดในระยะเพียง 50 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าเรานำมาอ่านตัวอักษรในกรอบขนาดกว้าง 1 เซ็นติเมตร ยาว 1 เซ็นติเมตร จะไม่สามารถอ่านภาพตัวอักษรได้เลย ดังนั้นเราต้องหาทางทำให้ตัวกล้องสามารถอ่านวัตถุขนาดเล็ก (ถ่ายใกล้ขึ้น) ได้ซึ่งทางแก้ไขมีอยู่ 2 วิธี

1. เปลี่ยนเลนส์ไปเป็นแบบเลนส์ถ่ายใกล้ (MACRO)
2. ต่อท่อขยาย (extension tube)

ซึ่งทางแก้ไขในวิธีที่ 1 จะดีกว่าเนื่องจากภาพที่ได้จะมีความเป็นเชิงเส้นดี แต่มีข้อเสียที่เลนส์ถ่ายใกล้มีราคาค่อนข้างแพง และเลนส์ถ่ายใกล้ที่ใช้กับกล้องวิดีคอนแบบขาวดำ หาซื้อไม่ได้ง่ายนัก ดังนั้น ในการทำวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้การต่อท่อขยาย โดยได้ทำการใช้แผ่นอาคริลิก (acrylic) ขนาด 2 มิลลิเมตรเจาะเป็นรูแทรกระหว่างเลนส์กับตัวกล้อง ซึ่งจะได้ว่า กำลังขยายที่เพิ่มขึ้นของกล้องจะขึ้นกับขนาดความหนาของแผ่นอาคริลิก [11] หลังจากใช้แผ่นอาคริลิกแล้วตัวกล้องสามารถโฟกัสภาพในระยะ 8 ถึง 11.3 เซ็นติเมตร

3.4.2 ความละเอียดของข้อมูล

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาขนาด 7 MHz ในการสุ่มข้อมูลภาพ เนื่องจากสัญญาณภาพมีขนาด 54 usec.[35] ดังนั้นข้อมูลสูงสุดในแนวนอนจะได้ 54 usc. x 7 MHz = 378 จุด และข้อมูลสูงสุดในแนวตั้ง 312 จุด (จำนวนเส้นใน 1 ฟิลด์ในระบบ CCIR) แต่เนื่องจากในโหมดแสดงกราฟิก ของเครื่องไมโคร APPLE II สามารถแสดงกราฟิก 280 x 192 จุด ดังนั้นเพื่อให้สะดวกในการแสดงผลในวิทยานิพนธ์นี้จึงจะสุ่มข้อมูลสัญญาณภาพขนาด 280 x 192 จุด ความละเอียดสูงสุดของระบบในการอ่านข้อมูลดีกว่า 90 x 75 จุด ต่อตารางเซ็นติเมตร โดยทำการวัดในช่วงระยะห่าง

จากตัวอักษรถึงกล้อง 8 เซ็นติเมตร ซึ่งเป็นระยะใกล้สุดที่ระบบ OCR สามารถอ่านได้

3.4.3 ความเป็นเชิงเส้น

ขั้นตอนในการทดสอบเริ่มจากนำรูปตารางขนาด 4 x 3 เซ็นติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ทำการอ่านเข้าไปเก็บในหน่วยความจำของระบบ OCR ที่สร้างขึ้น หลังจากนั้นจะพิมพ์รูปที่อ่านได้ออกทางเครื่องพิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 3.18 เมื่อนำสเกลในรูปที่ 3.17 และ 3.18 มาพล็อตร่วมกันจะได้กราฟแสดงการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในแนวนอนและแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่า ในตำแหน่งขอบจอด้านซ้ายมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้น ส่วนในตอนกลางและทางขวาของจอจะมีความเป็นเชิงเส้นตรงดี ดังนั้นถ้าต้องการอ่านรูปภาพโดยมีความเบี่ยงเบนน้อยที่สุด ควรวางตำแหน่งรูปที่ต้องการอ่านในบริเวณตรงกลางจนชิดขอบด้านขวา (จอแสดงโหมดกราฟิก) จากรูปที่ 3.19 และ 3.20 เมื่อวัดค่าเบี่ยงเบนสูงสุดในตำแหน่งชิดซ้ายของจอ จะได้ว่า

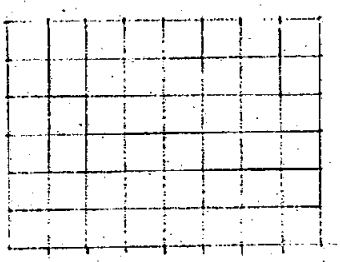
ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแนวนอนมีค่า 5.5 %

ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแนวตั้งมีค่า 3.2 %

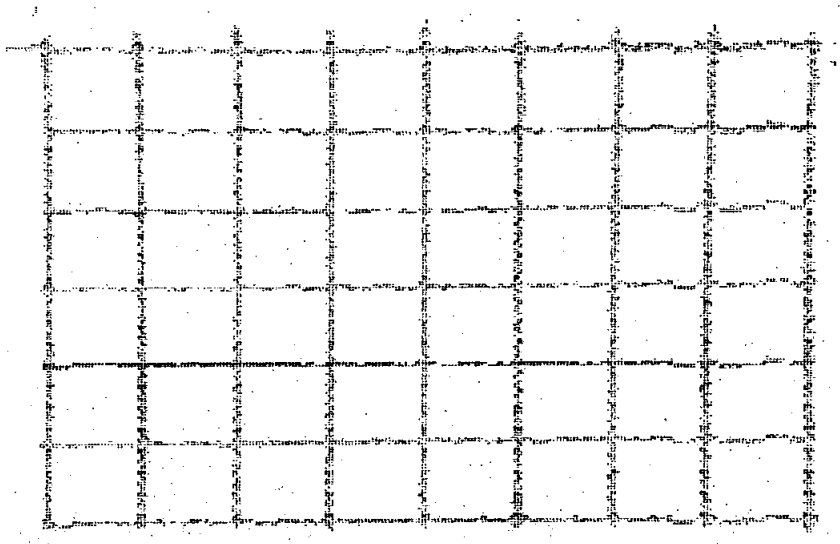
แต่ในการใช้อ่านตัวอักษรเพื่อการจำแนกค่าความไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้ยังพอยอมรับได้ เนื่องจากในการจำแนกตัวอักษรเราใช้คุณสมบัติรูปร่างเป็นสิ่งสำคัญ

3.4.4 การอ่านตัวอักษร

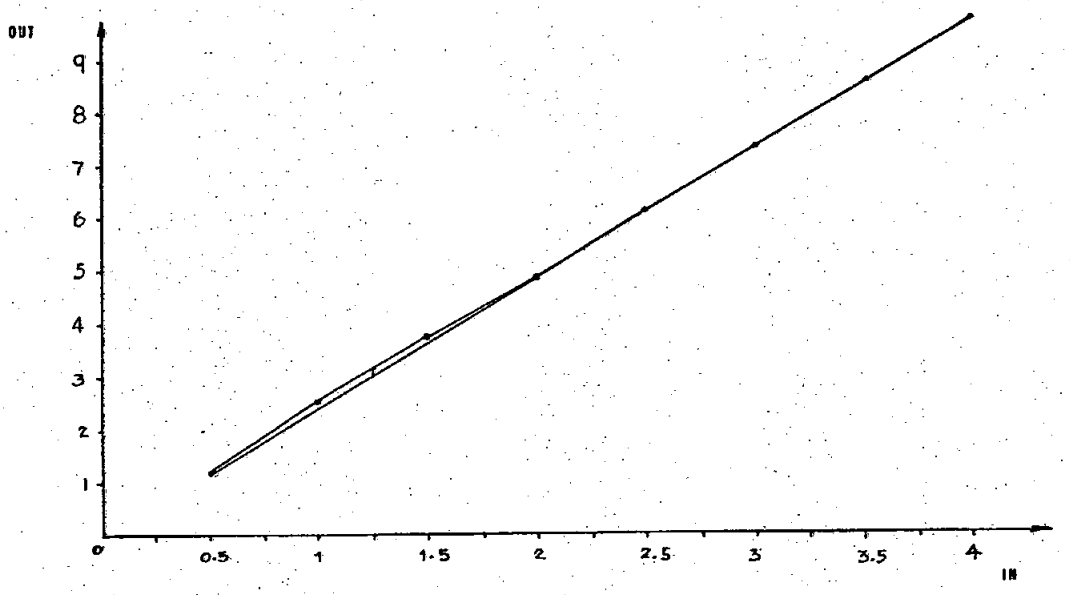
ได้ทำการทดสอบอัตราการอ่านอักษร โดยในระบบ OCR ที่สร้างขึ้นสามารถอ่านในอัตรา 50 ภาพต่อนาที โดยตัวอย่างตัวอักษรที่ใช้ทดสอบแสดงในรูปที่ 3.21 รูปตัวอักษรที่อ่านได้แสดงในรูปที่ 3.22



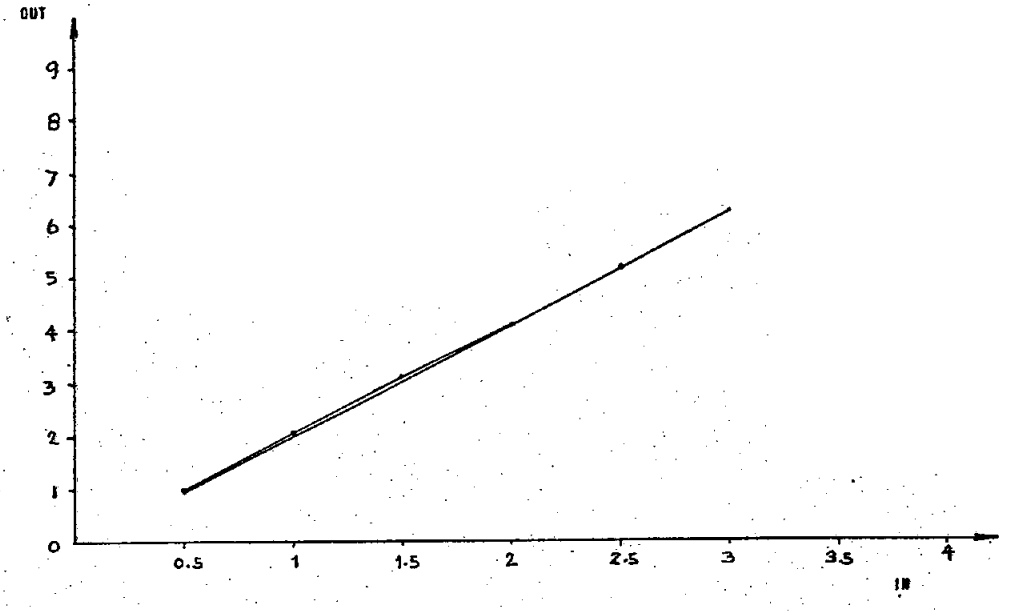
รูปที่ 3.17 แสดงรูปที่ใช้ทดสอบความเป็นเชิงเส้น



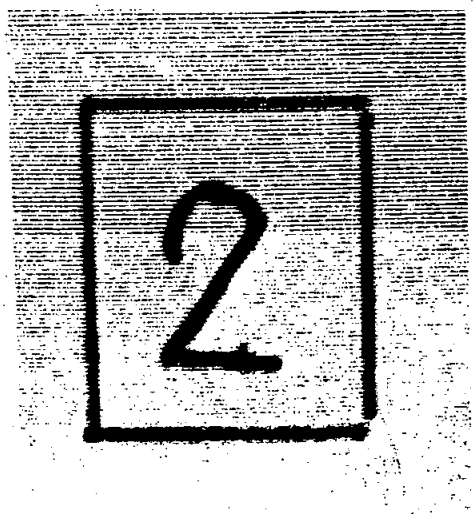
รูปที่ 3.18 แสดงผลการอ่านรูปที่ 3.17 ซึ่งพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์



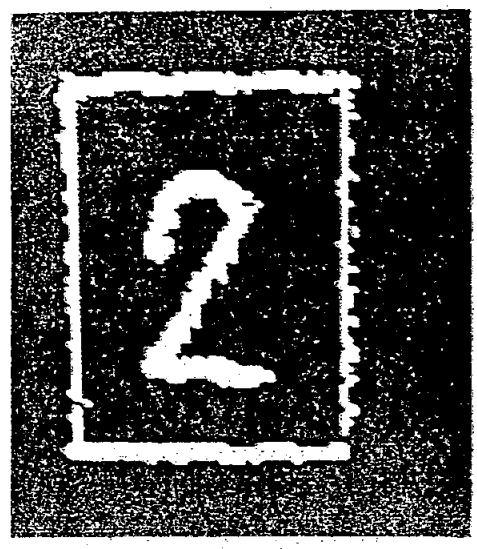
รูปที่ 3.19 กราฟแสดงการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในแนวนอน



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในแนวตั้ง



รูปที่ 3.21 แสดงภาพที่อ่านได้จากกล้องวิดิคอน เป็นสัญญาณอนาลอก



รูปที่ 3.22 แสดงภาพที่หลังจากสุ่มข้อมูลเข้ามา เก็บ เป็นสัญญาณดิจิตอล