

การถ่ายภาพตัดขวางแบบลำรังสีขนานโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

PARALLEL BEAM TOMOGRAPHY USING MICROCOMPUTER



สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

SURASIT VANNAKRAIROJN B.Eng. (KKU)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า จิตยาเขต เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2525

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การถ่ายภาพตัดขวางแบบลำรังสีขนานโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์
โดย นายสุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพรชัช ธัชยพงษ์
ระดับการศึกษา ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2525

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางหรือคอมพิวเตอร์ แอ็กเซียลโทโมกราฟี ถูกค้นพบและพัฒนาขึ้นจนใช้งานได้ในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคนิคที่สำคัญในการสร้างภาพตัดขวางคือ การใช้รังสีเอกซ์ฉายผ่านเข้าไปในส่วนของร่างกายที่ต้องการดูภาพตัดขวาง ปริมาณรังสีที่ทะลุออกมาจะถูกตรวจจับโดยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลและสร้างภาพตัดขวางออกมา

เนื้อหาสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงวิธีการนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง หลักการที่สำคัญในการสร้างภาพตัดขวางประกอบด้วยวิธีการสร้างภาพตัดขวางแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มและแบบคอนโวลูชัน ตลอดจนการทดลองใช้เครื่องมือเอกซ์เรย์ขนาดเล็กเพื่อสร้างภาพตัดขวางของวัตถุรูปทรงสมมาตร

Thesis Title: Parallel Beam Tomography Using Microcomputer
By: Mr. Surasit Vannakrairojn
Supervisor: Ass. Prof. Dr. Pairash Thajchayapong
Level of study: Master of Engineering (Computer)
Academic year: 1982

ABSTRACT

Recently, computer axial tomography is developed in radiology and has given the radiologist a powerful tool for diagnosis. The technique is based on passing X-rays through a thin cross section of the body in such a way that sufficient information can be obtained to enable an image of the section to be reconstruction precisely.

In this thesis, the role of microcomputer in simulating and reconstructing the image is described. The essential techniques for computing a reconstruction involve the direct Fourier Transform method and the convolution algorithm. In addition, the thesis includes an experiment of using small roentgenogram device to comprehend the tomogram of symmetric objects.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร.ไพรัช ธัชยพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งกรุณา
สนับสนุนและให้คำแนะนำ ตลอดจนจัดหาเครื่องมือในการทดลอง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร.สุรพงษ์ จิรรัตนานนท์ อาจารย์ท่านแรก
ที่ปลูกฝังความเป็นนักวิจัยให้แก่ผู้เขียน

พร้อมกันนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์
ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี



สารบัญ		หน้า
บทคัดย่อ		I
Abstract		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
<u>บทที่ 1</u>	บทนำ	1-1
	1.1 ประวัติและการพัฒนา	1-1
	1.2 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	1-6
<u>บทที่ 2</u>	คณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการประมวลสัญญาณภาพ	2-1
	2.1 การแทนภาพในระบบดิจิทัล	2-1
	2.2 ระบบการประมวลภาพทางดิจิทัล	2-2
	2.3 แบบจำลองภาพทางคณิตศาสตร์	2-3
	2.4 การสุ่มแบบสม่ำเสมอและควอนไทเซชัน	2-4
	2.5 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเบื้องต้น	2-7
	2.5.1 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง	2-9
<u>บทที่ 3</u>	ชนิดและเทคนิคของการถ่ายภาพตัดขวาง	3-1
	3.1 การสร้างภาพตัดขวางวีธีส่องผ่านโดยรังสีเอกซ์	3-2
	3.1.1 โพรเจกชันที่ได้จากรังสีขนาน	3-3
	3.1.2 โพรเจกชันที่ได้จากรังสีกระจาย	3-5
	3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรเจกชันกับปริมาณรังสี	3-7
	3.3 โครงสร้างของเครื่องถ่ายภาพตัดขวาง	3-9
	3.3.1 รังสีกระจายชนิดแหล่งกำเนิดและตัวตรวจวัดปริมาณรังสีหมุนไปพร้อมกัน	3-10
	3.3.2 รังสีกระจายชนิดตัววัดปริมาณรังสีคงที่ ขณะที่แหล่งกำเนิดรังสีหมุน	3-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>บทที่ 4</u>	การถ่ายภาพตัดขวางโดยวิธีคอนโวลูชัน	4-1
	4.1 การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม	4-1
	4.2 การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีคอนโวลูชัน	4-5
<u>บทที่ 5</u>	การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยคอมพิวเตอร์	5-1
	5.1 การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยเมนเฟรมคอมพิวเตอร์	5-1
	5.2 การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	5-13
	5.2.1 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล	5-13
	5.2.2 การเก็บข้อมูลภาพในอุปกรณ์ระบบภาพ	5-15
	5.2.3 ลักษณะการจัดหน่วยความจำหลักในระบบไมโครคอมพิวเตอร์	5-15
	5.2.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	5-26
	5.3 การสร้างภาพตัดขวางจากแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์กำลังต่ำ	5-28
	5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	5-28
	5.3.2 การทดลอง	5-29
	5.3.3 ผลการทดลอง	5-30
	5.3.4 สรุปผลการทดลอง	5-32
<u>บทที่ 6</u>	สรุปและวิจารณ์	6-1
	หนังสืออ้างอิง	6-2
	ภาคผนวก ก.	6-4
	ภาคผนวก ข.	6-8
	บทความที่ลงในวิศวกรรมสาร	6-22

บทที่ 1

บทนำ

การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computerized Tomography) เป็นแนวความคิดใหม่ที่มีประโยชน์อย่างสูงต่อวงการแพทย์ แพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของร่างกายในส่วนที่การฉายเอ็กซเรย์ธรรมดาไม่สามารถมองเห็นโดยไม่จำเป็นต้องผ่าตัดเปิดดูด้วยวิธีนี้ออก เทคนิคดังกล่าวต้องอาศัยคณิตศาสตร์ทางด้าน Digital Image Processing เพื่อสร้างภาพ (Reconstruction) ที่ต้องการและความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานนี้โดยเฉพาะ (Special purpose computer) การทำวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาคณิตศาสตร์ที่เป็นไปได้ในการสร้างภาพตัดขวาง ตลอดจนแนวทางที่จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ที่จะสร้างเครื่องดังกล่าว ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติการค้นพบและการพัฒนาเทคนิคนี้จนสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

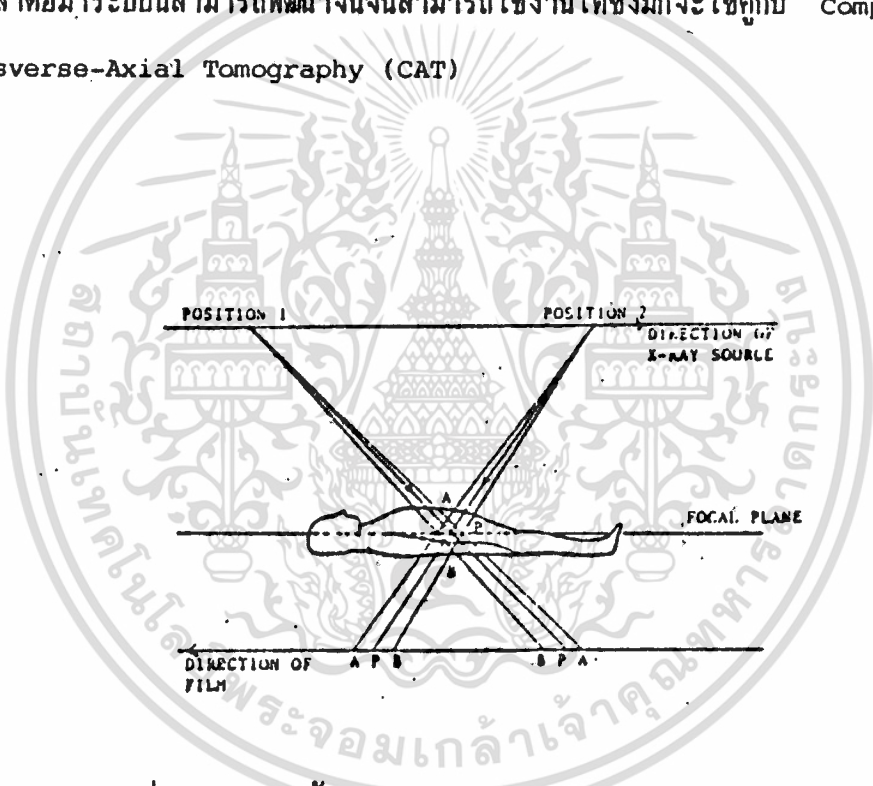
1.1 ประวัติและการพัฒนา

ทฤษฎีพื้นฐานในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างภาพถูกวางรากฐานมาตั้งแต่ปี 1917 และต่อมาได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1950 และ 1960 ตามลำดับ โดยนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานเกี่ยวกับด้าน Microscopy (การถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์) และ Astrophysics (ฟิสิกส์ทางด้านดาราศาสตร์) จนกระทั่งปี 1970 จึงมีการค้นพบทฤษฎีตลอดจนเทคนิคในการสร้างภาพตัดขวางเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคอย่างแท้จริงซึ่งนำไปสู่ระบบทางการค้าที่เรียกว่า Computer axial tomography (CAT)

นับตั้งแต่มีการค้นพบรังสีเอ็กซเรย์ ตลอดจนการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ทะลุผ่านร่างกาย เพื่อดูภาพภายใน ภาพเอ็กซเรย์ธรรมดา (ซึ่งเรียกว่า Conventional X-ray photography) จะประกอบด้วยชั้นต่างๆของร่างกายซ้อนกัน (Superposition) รอบบริเวณที่สนใจ รังสีแพทย์ต้องใช้ความชำนาญในการจินตนาการภาพจากฟิล์มเอ็กซเรย์ให้เป็นภาพ 3 มิติในใจ และแยกความแตกต่างระหว่างชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งบ่อยครั้งก็เป็นการยากและสร้างความสับสนในการตรวจฟิล์มเอ็กซเรย์ ถึงแม้ว่าจะมีเทคนิคการฉีกรสเคมีบางชนิดเข้าไปภายในร่างกายเพื่อเพิ่มความแตกต่างของเนื้อเยื่อมากขึ้น ซึ่งวิธีนี้ก็เป็นที่นิยมอยู่มากในปัจจุบัน แต่ภาพที่ได้ออกมาก็ยังมีความชัดเจนน้อย ซึ่งเป็นเหตุเนื่องมาจากรังสีเอ็กซเรย์ต้องทะลุผ่าน

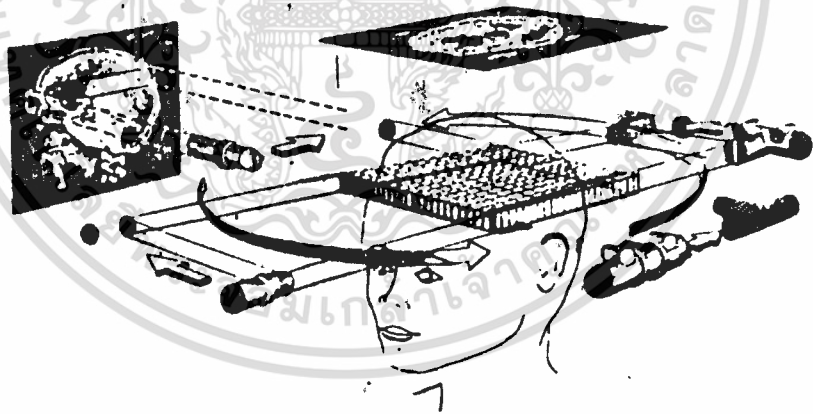
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่างๆที่มีสัมประสิทธิ์ของการดูดซับรังสี (Absorption coefficient) แตกต่างกันไปมาก
 ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้พยายามลดความไม่ชัดเจน เนื่องจากการซ้อนกันของเนื้อเยื่อภายในฟิล์ม
 ซึ่งเราเรียกภาพชนิดนี้ว่า Conventional tomography ภาพ Tomography
 อย่างง่ายาคิดขึ้นโดย Bocage ในปี 1921 [1] โดยอาศัยแนวความคิดจากการกำเนิด
 ภาพในแนวนอนโดยใช้จุดกำเนิดของรังสีเอ็กซ์และฟิล์ม เคลื่อนที่พร้อมกันในทิศทางตรงกัน
 ข้าม ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ดังนั้นภาพที่ได้ออกมาจะชัดเจนอยู่ในระนาบที่ถูกโฟกัส ส่วนระนาบ
 ที่อยู่เหนือและใต้ระนาบโฟกัสจะเป็นภาพมัวๆ (motion-blurred image) ซ่อนอยู่
 ในเวลาต่อมาระบบนี้สามารถพัฒนาจนสามารถใช้งานได้ซึ่งมักจะใช้คู่กับ Computerized
 transverse-Axial Tomography (CAT)



รูปที่ 1.1 กจรสร้างภาพในแนวนอน (Conventional Tomography)

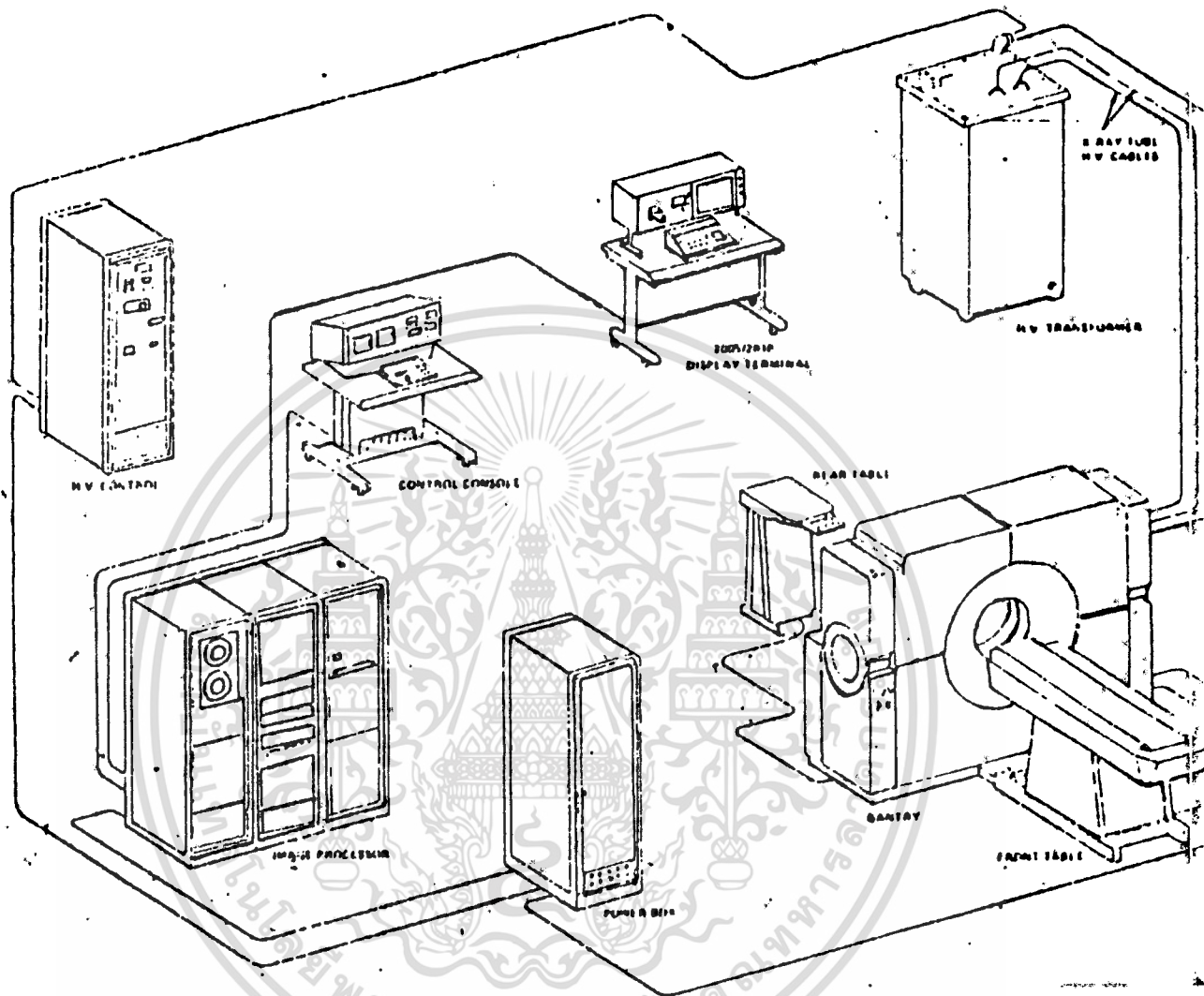
ในปี 1963 Kuhl และ Edwards สามารถคิดเทคนิคการถ่ายภาพตัดขวางของร่างกายได้โดยใช้ลำรังสีเอ็กซ์แคบๆ ฉายผ่านตามแนวขวางในส่วนที่สนใจ แทนที่จะใช้ฟิล์มเป็นตัวรับรังสีที่ทะลุออกมา เขาใช้ตัววัดปริมาณรังสี (detector) ซึ่งจะวัดปริมาณรังสีออกมาเป็นจำนวนโฟตรอนสัมพันธ์ (Relative Photon) ในขณะที่เคลื่อนลำรังสีเอ็กซ์ ตัววัดปริมาณรังสีก็จะเคลื่อนขนานตามไปด้วย ดังในรูปที่ 1.2 เมื่อสิ้นสุดการกวาดของรังสีในแนวขนานผ่านส่วนของร่างกาย ระยะเวลาของการกวาดก็จะขยับไปอีก 1 องศา และทำการกวาดรังสีใหม่ จนกระทั่งครบ 180 องศา จึงนำเอาโปรเจกชันทุก ๆ องศา ไปสร้างภาพกลับมาเป็นภาพตัดขวางโดยมิได้มีการคำนวณใด ๆ ทั้งสิ้น เราเรียกวิธีนี้ว่า Back-projection method ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดอีกในบทที่ 4 ภาพที่ได้จากวิธีนี้ยังไม่ชัดเจน แต่ผลลัพธ์ก็สามารถบอกได้ถึงความเป็นไปได้ในการสร้างภาพตัดขวางที่ชัดเจนต่อไป



รูปที่ 1.2 การสร้างภาพตัดขวางส่วนศีรษะโดยใช้หลักการของลำรังสีขนาน

คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายเครื่องแรก ที่ผลิตขึ้นในด้านของ การค้าออกเผยโดย G.H. Hounsfield ซึ่งทำงานให้กับแล็บของบริษัท EMI ใน ประเทศอังกฤษ ในปี 1967 โดยในการทดลองครั้งแรก ใช้แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ที่มี พลังงานต่ำ ใช้เวลาถึง 9 วันในการสร้างภาพ 1 ภาพ ใช้สมการในการคำนวณการสร้าง ภาพถึง 28,000 สมการ โดยใช้เวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ถึงสองชั่วโมงครึ่ง ภาพที่ได้ออกมามีความถูกต้องเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเมื่อวิธีการทางคณิตศาสตร์ ตลอดจน ความรู้ทางด้านรังสีเอ็กซ์พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ก็ทำให้เวลาในการสร้างภาพลดลงมาก และ ก็มีความถูกต้องมากขึ้นด้วย คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายเครื่องแรก ติดตั้งขึ้น ที่โรงพยาบาล Atkinson Morley ในปี 1971 ใช้คอมพิวเตอร์ของ ICL 1905 สามารถสร้างภาพโดยใช้เวลาประมาณ 20 นาทีต่อภาพ ปัจจุบันการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ ก้าวหน้าไปไกล จึงได้นำเอามินิคอมพิวเตอร์และไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้กับเครื่องดังกล่าว ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตและสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

ในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายได้พัฒนาขึ้นมา โดยมี บริษัทใหญ่ที่ผลิตออกขายมากกว่า 15 บริษัท เช่น EMI ของอังกฤษ, บริษัท Ohio-Nuclear ของอเมริกา เป็นต้น เครื่องคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายที่เห็นในรูปที่ 1.3 เป็นของ บริษัท Ohio-Nuclear รุ่น Δ -scan 2005/2010 ซึ่งปัจจุบันติดตั้งอยู่ที่โรงพยาบาล เปาโล เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงมากเครื่องหนึ่ง สามารถที่จะคุณภาพตัดขวางของร่างกาย ได้ตลอดทั้งตัว โดยใช้เวลาในการสร้างภาพเพียงหนึ่งนาที สามารถที่จะบันทึกภาพลงใน แม็คเนติกเทปเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานได้ 134 ภาพ ต่อ เทปหนึ่งม้วน หรือจะบันทึกลงใน ฟลอปปีดิสก์ได้ 30 ภาพ นอกจากนี้ยังมี mode ในการปรับแต่งภาพ (ซึ่งมีคิสเพลย์เป็นจอ CRT) ซึ่งทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยได้โดยสะดวกอีกด้วย



รูปที่ 1.3 คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายของ Ohio-Nuclear รุ่น Δ -scan 2005/2010

1.2 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

จุดประสงค์ของโครงการนี้ต้องการที่จะสร้างเครื่องถ่ายภาพตัดขวางของร่างกายมาใช้เองในประเทศ ในปัจจุบันเครื่องดังกล่าวมีใช้เฉพาะในโรงพยาบาลใหญ่ๆ ซึ่งเครื่องทั้งหมดที่มีอยู่ต้องสั่งจากต่างประเทศจึงทำให้ประสบปัญหา 2 ประการคือ ราคาของเครื่องดังกล่าวแพงมาก และมีความลำบากในการบำรุงรักษา โครงการนี้มุ่งที่จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีราคาถูกกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใหญ่ มาใช้ในการสร้างเครื่องถ่ายภาพตัดขวาง เนื้อหาของวิทยานิพนธ์มีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงประวัติความเป็นมาตลอดจนการพัฒนาเครื่องถ่ายภาพตัดขวางจนสามารถใช้ประโยชน์ได้ในวงการแพทย์

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานความรู้ทางด้านสัญญาณภาพที่เป็นสัญญาณทางดิจิทัล โดยจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการแทนภาพในระบบดิจิทัล, ระบบการประมวลผลทางดิจิทัล ตลอดจนคณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณภาพ

บทที่ 3 กล่าวถึงชนิดและเทคนิคของการถ่ายภาพตัดขวาง ตลอดจนโครงสร้างของเครื่องถ่ายภาพตัดขวางโดยสังเขป

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางซึ่งประกอบด้วยวิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟูเรียร์ทรานฟอร์มและวิธีคอนโวลูชัน

บทที่ 5 กล่าวถึงการจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยเมนเฟรมและไมโครคอมพิวเตอร์ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดและปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ปัญหาเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์จำลองและสร้างภาพตัดขวาง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ นอกจากนี้ในภาคผนวกจะประกอบด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

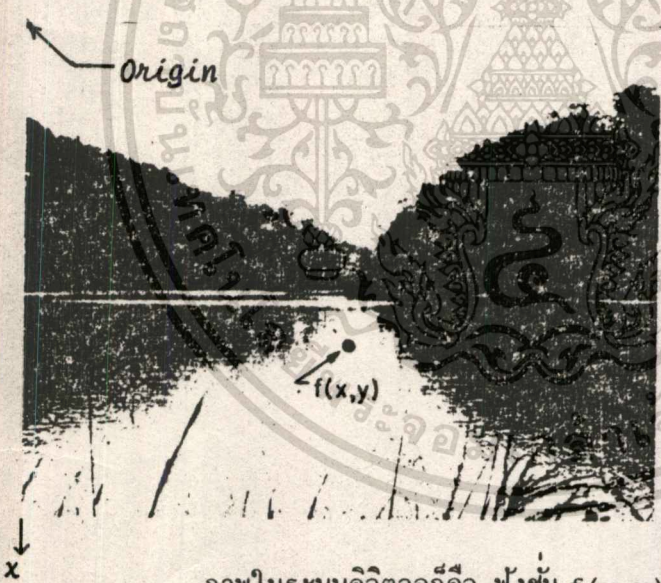
บทที่ 2

ระบบภาพทางดิจิทัลและคณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการประมวลสัญญาณภาพ

ในการสร้างภาพตัดขวางจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณภาพที่อยู่ในรูปอนาลอกให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล เพื่อประโยชน์ในการคำนวณโดยง่าย ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพในระบบดิจิทัล ตลอดจนคณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ประมวลสัญญาณภาพ

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิทัล (Digital Image Representation)

ภาพ (Image) ในเชิงคณิตศาสตร์จะหมายถึง ฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x,y)$ โดย x และ y เป็นแกนพิกัดในระนาบของภาพ (Spatial coordinate) ค่าของฟังก์ชันที่จุด x,y จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างซึ่งเราเรียกว่าระดับเทา (gray level) ในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นระนาบและแกนพิกัดของภาพ ซึ่งโดยทั่วไปเราจะให้จุดกำเนิดของแกนพิกัดอยู่ทางมุมบนซ้ายของภาพ



รูปที่ 2.1 ระนาบและแกนพิกัดที่ใช้ในระบบภาพ

ภาพในระบบดิจิทัลก็คือ ฟังก์ชัน $f(x,y)$ ซึ่งถูกสุ่ม (discretized) ทั้งในแกน x,y และค่าของฟังก์ชันก็คือระบบเทา เราอาจพิจารณาภาพดิจิทัลเป็นเมทริกซ์ โดยแถวและคอลัมน์ จะแทนตำแหน่งของจุดในภาพ และค่าสมาชิกในเมทริกซ์จะแทนระดับเทาของจุดในตำแหน่งนั้น เราเรียกแต่ละสมาชิกของเมทริกซ์ว่า พิกเซล (pixel) หรือ เพล (pel) รูปที่ 2.1 เป็นภาพดิจิทัลขนาด 128×128 พิกเซล

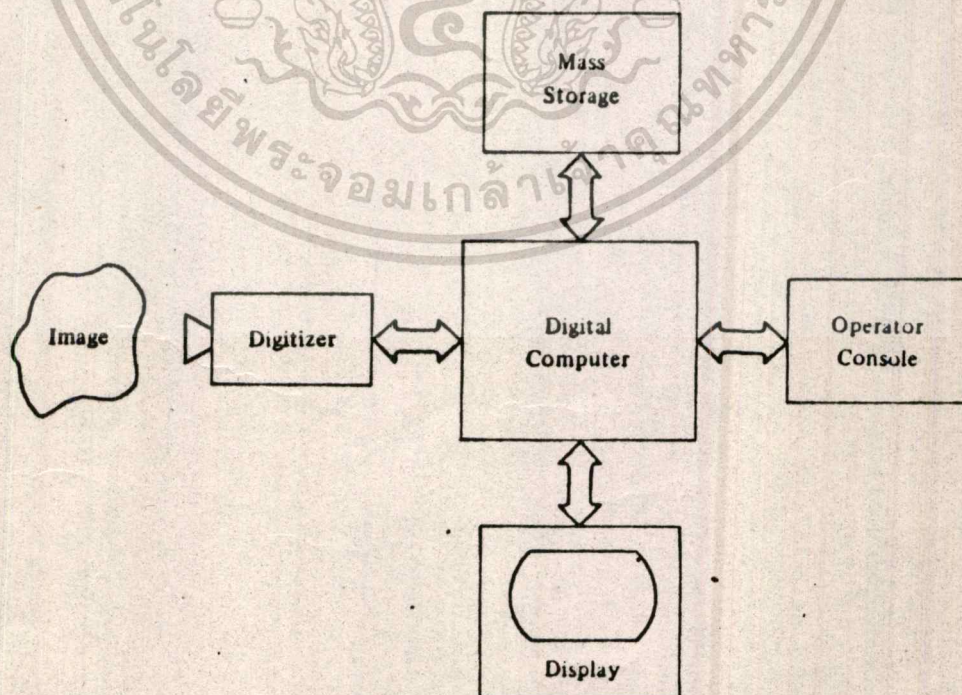
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพดิจิทัลขนาด 128×128 พิกเซล

2.2 ระบบการประมวลผลภาพทางดิจิทัล (Digital Image Processing System)

ระบบการประมวลผลภาพประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digitizer), ส่วนประมวลผล (Processing) และส่วนแสดงผล (Display) ดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ในระบบประมวลผลภาพดิจิทัล
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคิเจอร์เซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณภาพให้อยู่ในรูปของตัวเลขเพื่อเป็นข้อมูลเข้าของคิเจอร์คอลลอมพิวเตอร์ ส่วนนี้ไค้แก กลองโทรทศันคิเจอร์เซอร์ ภายในประกอบคิเจอร์คอลลอมคิเจอร์คอง ซึ่งทำหน้าที่เป็นลื่อนนำไฟฟ้าทางแสง ภาพจะถูกโฟกัสลงบนผิวของลอคคิเจอร์ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นภาพคิเจอร์คอลลจะไค้มาจากการควอนไทซิงสัญญาณนี้

สำหรับภาพประมวผล ก็คือคิเจอร์คอลลอมคิเจอร์เซอร์ ซึ่งอาจจะใช้ขนาดคิเจอร์คองไมโครคอมคิเจอร์คองจนถึงเมนเฟรมคอมคิเจอร์คอง ในระบบคอมคิเจอร์คองนอยางนอยที่สุดควรมีหน่วยความจำคิเจอร์คอง 32 kB ถึง 64 kB หรือมากกว่า ควรมีหน่วยความจำสำรอง (Secondary memory) เช่น คิเจอร์คอง เทปแม่เหล็ก ฯลฯ และมีหน่วยแสดงผล เช่น เครื่องพิมพ์สำหรับคอมคิเจอร์คอง

ในภาคแสดงผลหน้าที่ของมันก็คือ เปลี่ยนภาพในสัญญาณคิเจอร์คอลลที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ซึ่งประกอบคิเจอร์คองค่าตัวเลขที่เป็นน้ำหนักของระดับเทา ออกมาเป็นภาพที่ตามนุษย์สามารถสังเกตุเห็นไค้ ส่วนแสดงผลนี้มักจะเป็นอุปกรณ์ CRT, เครื่องพิมพ์ที่สามารถแสดงผลในรูปของกราฟฟิคไค้

2.3 แบบจำลองภาพทางคณิตศาสตร์ (Image Model)

ภาพ 2 มิติ สามารถแทนไค้คิเจอร์คองฟังก์ชัน $f(x,y)$ โดย x และ y เป็นแกนในระนาบของภาพ ค่าของฟังก์ชันที่จุด x,y คือความเข้มของแสงที่จุดนั้น เนื่องจากแสงอยู่ในรูปของพลังงานชนิดหนึ่ง คิเจอร์คองนั้น $f(x,y)$ ต้องไม่เป็นศูนย์และไฟไนท์ นั่นคือ

$$0 < f(x,y) < \infty \tag{2.1}$$

โดยธรรมชาติของแสงซึ่งจะตองมีแหล่งกำเนิดแสงและส่วนที่สะท้อนของแสง คิเจอร์คองนั้นเราสามารถแยกฟังก์ชัน $f(x,y)$ ออกเป็น 2 ส่วนคือ $i(x,y)$ (อิทธิภูมิเนชันคอมโพเน้นท์) และ $r(x,y)$ (รีเฟลคแทนซ์ คอมโพเน้นท์) ผลคูณของ $i(x,y)$ และ $r(x,y)$ ก็คือฟังก์ชัน $f(x,y)$

$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y) \tag{2.2}$$

เมื่อ

$$0 < i(x,y) < \infty \tag{2.3}$$

และ

$$0 < r(x,y) < 1 \quad (2.4)$$

สมการ (2.4) แสดงให้เห็นว่า พังชั้นของการสะท้อนถูกจำกัดขอบเขตระหว่าง 0 (ซึ่งหมายถึงการดูดซับโดยสมบูรณ์) และ 1 (ซึ่งหมายถึงการสะท้อนโดยสมบูรณ์) ธรรมชาติของ $i(x,y)$ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง ในขณะที่ $r(x,y)$ ขึ้นอยู่กับวัตถุที่สะท้อนแสงมาเข้าตา

ดังที่กล่าวมาแล้ว ความเข้มของภาพที่จุด (x,y) เราเรียกว่าระดับเทา (ℓ) จากสมการที่ (2.2) ถึง (2.4) จะเห็นได้ว่า ℓ ควรอยู่ในช่วง

$$L_{\min} \leq \ell \leq L_{\max} \quad (2.5)$$

ในทางทฤษฎี L_{\min} ต้องมีค่าเป็นบวก ในขณะที่ L_{\max} ต้องน้อยกว่าอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ $L_{\min} = i_{\min} r_{\min}$ และ $L_{\max} = i_{\max} r_{\max}$ ช่วงของ $[L_{\min}, L_{\max}]$ เราเรียกว่าสเกลของระดับเทา โดยใช้หลักคณิตศาสตร์ทางปฏิบัติเรานิยามช่วง $[L_{\min}, L_{\max}]$ ให้อยู่ในช่วง $[0, L]$ โดย $\ell = 0$ หมายถึงดำสนิทและ $\ell = L$ หมายถึงขาว

2.4 การสุ่มแบบสม่ำเสมอและควอนไทเซชัน (Uniform Sampling and Quantization)

เพื่อที่จะประมวลสัญญาณภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พังชั้นของภาพ $f(x,y)$ จะต้องถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ทั้งในแกนระนาบของภาพ (x,y) ซึ่งเราเรียกว่า image sampling และค่าของพังชั้นซึ่งเราเรียกว่า gray-level quantization

สมมติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x,y)$ ถูก digitized ในระนาบ x,y เป็นช่วงเท่า ๆ กัน ซึ่งเราสามารถจัดให้อยู่ในรูปเมตริกขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการ (2.7)

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & & & \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ทางขวาของสมการนี้จะเรียกว่าภาพดิจิทัล และทุกสมาชิกของเมทริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้น จะเห็นว่าเราต้องทราบขนาดความละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซลและจำนวนระดับของระดับเทา ในทางปฏิบัติการทำควอนไทเซชัน ในระบบภาพดิจิทัลจะเป็นเลขจำนวนเต็ม โดยที่

$$N = 2^n \quad (2.8)$$

และ

$$G = 2^m \quad (2.9)$$

เมื่อ G เท่ากับจำนวนระดับของระดับเทา ดังนั้นหน่วยความจำที่ใช้เก็บภาพหนึ่งภาพจะกำหนดโดย

$$b = N \times N \times m \quad \text{บิต} \quad (2.10)$$

ตัวอย่างเช่น ภาพขนาด 128×128 พิกเซล ต้องใช้หน่วยความจำขนาด 98,304 บิต ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ได้แสดงการใช้หน่วยความจำ เป็นจำนวนบิตและไบต์ตามลำดับเมื่อค่า N และ m เปลี่ยนแปลงไป

$N \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8
32	1024	2048	3072	4096	5120	6144	7168	8192
64	4096	8192	12288	16384	20480	24576	28672	32768
128	16384	32768	49152	65536	81920	98304	114688	131072
256	65536	131072	196608	262144	327680	393216	458752	524288
512	262144	524288	786432	1048576	1310720	1572864	1835008	2097152

ตารางที่ 2.1 จำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N และ m เปลี่ยนแปลงไป

$N \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8
32	128	256	512	512	1024	1024	1024	1024
64	512	1024	2048	2048	4096	4096	4096	4096
128	2048	4096	8192	8192	16384	16384	16384	16384
256	8192	16384	32768	32768	65536	65536	65536	65536
512	32768	65536	131072	131072	262144	262144	262144	262144

ตารางที่ 2.2 จำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N และ m เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มเบื้องต้น (Concept of the Fourier Transform)

ให้ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของตัวแปรจำนวนจริง x ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของ $f(x)$ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ $\mathcal{F}\{f(x)\}$ ถูกนิยามโดยสมการ

$$\mathcal{F}\{f(x)\} = F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-j 2\pi ux] dx \quad (2.11)$$

เมื่อ $j = \sqrt{-1}$

เมื่อกำหนดฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม $F(u)$ เราสามารถหา $f(x)$ ได้จากการทำอินเวอร์สฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม (Inverse Fourier Transform)

$$\begin{aligned} \mathcal{F}^{-1}\{F(u)\} &= f(x) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp[j 2\pi ux] du \end{aligned} \quad (2.12)$$

สมการ (2.11) และ (2.12) เรียกว่า คู่สมการของฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจะเกิดได้ (exist) ก็ต่อเมื่อ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่องและสามารถอินทิเกรตได้ และ $F(u)$ ต้องสามารถอินทิเกรตได้ด้วย ซึ่งส่วนมากกรณีเช่นนี้จะจริงในทางปฏิบัติ

ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชันตัวแปรจำนวนจริง $f(x)$ มักจะให้ $F(u)$ เป็นคอมเพล็กซ์

$$F(u) = R(u) + j I(u) \quad (2.13)$$

เมื่อ $R(u)$ และ $I(u)$ คือ ส่วน real และ imaginary ของ $F(u)$ ตามลำดับ เพื่อความสะดวกเราจะกระจายสมการ (2.13) ในรูปของเอ็กซ์โพเนนเชียล

$$F(u) = |F(u)| e^{j \phi(u)} \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$|F(u)| = [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \quad (2.15)$$

และ

$$\phi(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \quad (2.16)$$

ขนาดของฟังก์ชัน $F(u)$ เรียกว่า สเปกตรัมฟูเรียร์ของ $f(x)$ และ $\theta(u)$ คือ มุมเฟส เมื่อยกกำลังสองของสเปกตรัม (Spectrum) จะได้

$$\begin{aligned} E(u) &= |F(u)|^2 \\ &= R^2(u) + I^2(u) \end{aligned} \quad (2.17)$$

ซึ่งเรียกว่า สเปกตรัมพลังงานของ $f(x)$

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม สามารถใช้กับฟังก์ชัน $f(x,y)$ ซึ่งมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว ถ้าฟังก์ชัน $f(x,y)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง และสามารถอินทิเกรตได้ และ $F(u,v)$ สามารถอินทิเกรตได้ ดังนั้นคุณสมบัติของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม จะเป็น

$$f(x,y) = F(u,v) = \iint f(x,y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (2.18)$$

และ

$$F(u,v) = f(x,y) = \iint F(u,v) \exp[j2\pi(ux + vy)] du dv \quad (2.19)$$

เมื่อ u และ v เป็นตัวแปรทางความถี่

ในทำนองเดียวกับกรณี 1 มิติ สเปกตรัมฟูเรียร์, เฟส และสเปกตรัมพลังงาน ถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ของสมการต่อไปนี้

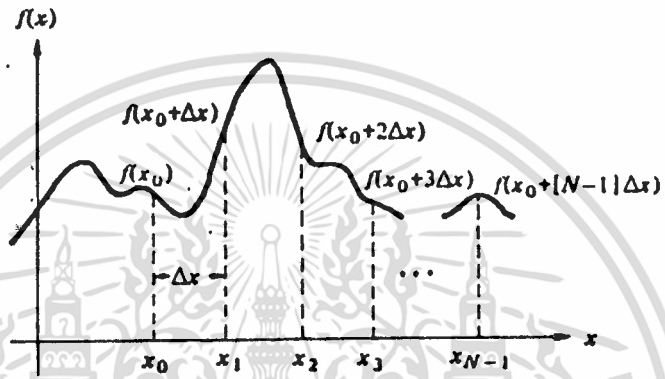
$$\begin{aligned} |F(u,v)| &= [R^2(u,v) + I^2(u,v)]^{1/2} \\ \theta(u,v) &= \tan^{-1} \left[\frac{I(u,v)}{R(u,v)} \right] \end{aligned} \quad (2.21)$$

และ

$$E(u,v) = R^2(u,v) + I^2(u,v) \quad (2.22)$$

2.5.1 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง (The Discrete Fourier Transform)

สมมติให้ฟังก์ชัน $f(x)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องที่ถูกสุ่ม ในช่วงห่างเท่าๆกัน คือ $f(x_0), f(x_0+\Delta x), f(x_0+2\Delta x), \dots, f(x_0+[N-1]\Delta x)$ เป็นจำนวน N ตัวอย่าง โดยมีระยะห่าง Δx หน่วย ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันภาพต่อเนื่องที่ถูกสุ่มในช่วงเท่า ๆ กัน

เราอาจนิยาม $f(x)$ ให้เป็นฟังก์ชันคิซิทอลโดย

$$f(x) = f(x_0 + x \Delta x) \tag{2.23}$$

เมื่อ ถ้า x เป็นค่าของจุดไม่ต่อเนื่อง ที่ $0, 1, 2, \dots, N-1$ ดังนั้นขบวนพัลส์ของ $f(x)$ ข้างต้นอาจเขียนแทนด้วยขบวน $f(0), f(1), f(2), \dots, f(N-1)$ จำนวน N ตัวอย่างที่มีช่วงห่างเท่าๆกัน

จากสัญญ ลักษณ์ข้างต้น เราสามารถเขียนคู่สมการของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชันสุ่ม $f(x)$ ซึ่งเรียกว่า ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง โดย

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-j2\pi ux/N] \tag{2.24}$$

เมื่อ $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$ และ

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[j2\pi ux/N] \tag{2.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[j2\pi ux / N] \quad (2.25)$$

เมื่อ $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$

ในสมการที่ (2.25) ค่าของ $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$ จะสมนัยกับค่าที่สุ่มมาที่จุด $0, \Delta u, 2\Delta u, \dots, (N-1)\Delta u$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า $F(u)$ ในกรณีนี้จะใช้แทน $F(n\Delta u)$ จะเห็นได้ว่า Δu และ Δx มีความสัมพันธ์กันโดย

$$\Delta u = \frac{1}{N\Delta x} \quad (2.26)$$

ในกรณีฟังก์ชันสองตัวแปร สมการคู่ของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มจะกำหนดโดย

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi (ux/M + vy/N)] \quad (2.27)$$

เมื่อ $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$; $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ และ

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp[2j\pi (ux/M + vy/N)] \quad (2.28)$$

เมื่อ $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ และ $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$

จะเห็นว่าในกรณีนี้ $f(x, y)$ จะถูกสุ่มทั้งสองแกนด้วยระยะทาง Δx และ Δy เท่ากัน จากการศึกษาที่เราเขียน $f(x, y)$ ในกรณีนี้จะหมายถึง ฟังก์ชันที่ถูกสุ่มแล้วนั่นเองคือ

$f(x_0 + x\Delta x, y_0 + y\Delta y)$ เมื่อ $x=0, 1, 2, \dots, M-1$ และ $y=0, 1, 2, \dots, N-1$

ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของพิกัดความถี่ และพิกัดภาพได้ดังนี้

$$u = \frac{1}{M\Delta x} \quad (2.29)$$

และ

$$v = \frac{1}{N\Delta y} \quad (2.30)$$

สำหรับฟังก์ชันของภาพที่ถูกสุ่มโดยที่ $M = N$ เราจะได้อัตลักษณ์ของสมการฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม

$$F(u,v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \exp[-j2\pi(ux+vy) / N] \quad (2.31)$$

เมื่อ $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ และ

$$f(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) \exp[j2\pi(ux+vy) / N] \quad (2.32)$$

ในรูปที่ 2.5 แสดงภาพและสเปกตรัมฟูรีเยร์ของมัน



(ก) ภาพ

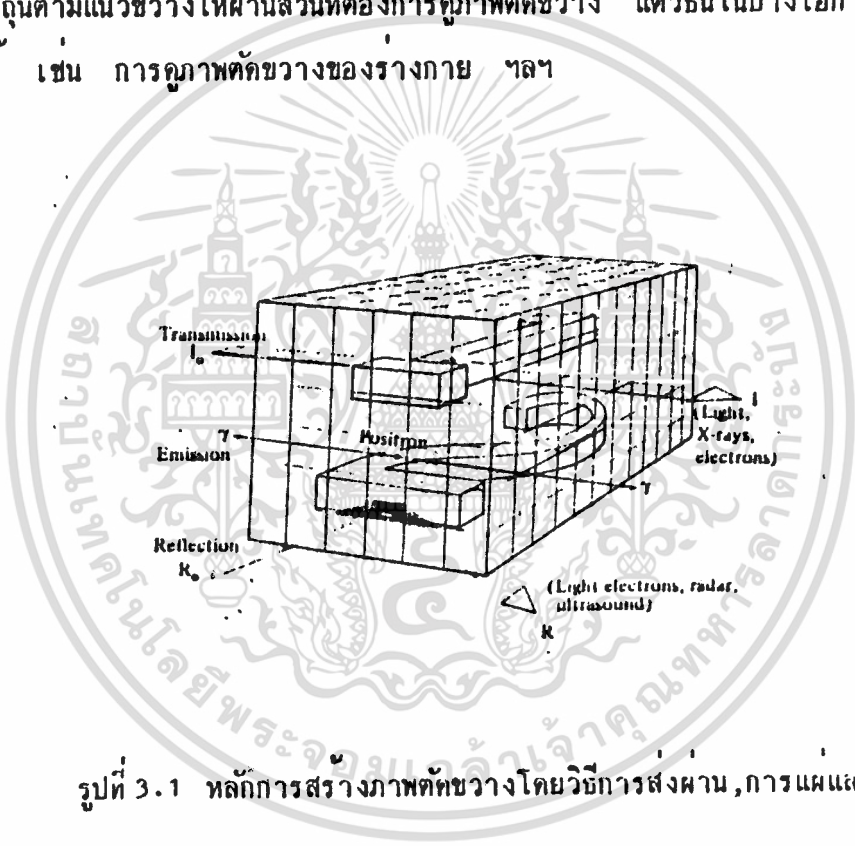
(ข) สเปกตรัมฟูรีเยร์ของภาพ

รูปที่ 2.5 ภาพและสเปกตรัมฟูรีเยร์ของภาพ

ชนิดและเทคนิคของการถ่ายภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยทั่วไปที่ใช้รังสีเอกซ์ดังที่กล่าวในบทที่ 1 เป็นเพียงวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ แต่หลังจากการค้นคว้าและพัฒนา เทคนิคต่างๆก็ถูกค้นพบขึ้นมาอีก ในบทนี้จะกล่าวถึงชนิดและเทคนิคในการสร้างภาพตัดขวางชนิดต่างๆ

ลองพิจารณารูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ ซึ่งภายในประกอบด้วยเลข 1 และ 2 ดังในรูปที่ 3.1 วิธีง่าย ๆ เพื่อที่จะรู้ว่า ภายในรูปสี่เหลี่ยมคั้นนี้ประกอบด้วยอะไรบ้าง ก็คือ ผ่าวัตถุนั้นตามแนวขวางให้ผ่านส่วนที่ต้องการภาพตัดขวาง แต่วิธีนี้ในบางโอกาสเราไม่สามารถทำได้ เช่น การถ่ายภาพตัดขวางของร่างกาย ฯลฯ



รูปที่ 3.1 หลักการสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีการส่งผ่าน, การแผ่และการสะท้อน

เรามีวิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยไม่ต้องทำลายวัตถุ แบ่งออกเป็นหลักใหญ่ๆ ได้ 3 ประการคือ การส่งผ่าน (Transmission) การแผ่ (Emission) และการสะท้อน (Reflection) ในการส่งผ่าน เราจะใช้รังสีเอกซ์ ลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ความร้อน แสง หรือแหล่งพลังงานใดก็ได้ที่ประพฤติตนตามกฎของการดูดซับ (Absorption Law) แหล่งพลังงานที่ส่งผ่านเข้าไปในวัตถุจะถูกดูดซับในส่วนต่าง ๆ ของวัตถุไม่เท่ากัน พลังงานส่วนที่ทะลุออกมาจากวัตถุซึ่งเราเรียกว่า โปรเจกชัน (Projection) จะถูกเก็บไว้ในส่วนของหน่วยความจำและนำไปประมวลผลสร้างภาพขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีการสร้างภาพตัดขวางโคซิค์เจนที่ชัดเจนที่สุดซึ่งเป็นที่นิยมกันมากที่สุด โดยใช้แหล่งพลังงานเป็นรังสีเอกซ์ ในการแผ่ เราต้องมีสารกัมมันตภาพรังสีอยู่ภายในวัตถุ อาจจะใช้การฉีกสารนี้เข้าไปในร่างกาย ซึ่งมันจะแผ่รังสีแกมมาออกมาในทิศทางแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 ทิศทางขึ้นไป ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการเดินทางของรังสีแกมมาที่ผ่านตำแหน่งเดียวกัน ก็สามารถนำไปประมวลผลหาค่าแห่งของจุดนั้นได้ ส่วนหลักการสะท้อนก็ใช้คุณสมบัติการสะท้อนของผิวหน้าของวัตถุ มาตรวจสอบลักษณะของวัตถุได้ แหล่งพลังงานอาจจะใช้ อุลตราโซนิก แสง หรือลำอิเล็กตรอนก็ได้ หัวข้อสำหรับการวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาเฉพาะการถ่ายภาพตัดขวางโดยวิธีการส่งผ่าน สำหรับวิธีอื่นสามารถค้นคว้าได้จากหนังสืออ้างอิง [3]-[4] ฯลฯ

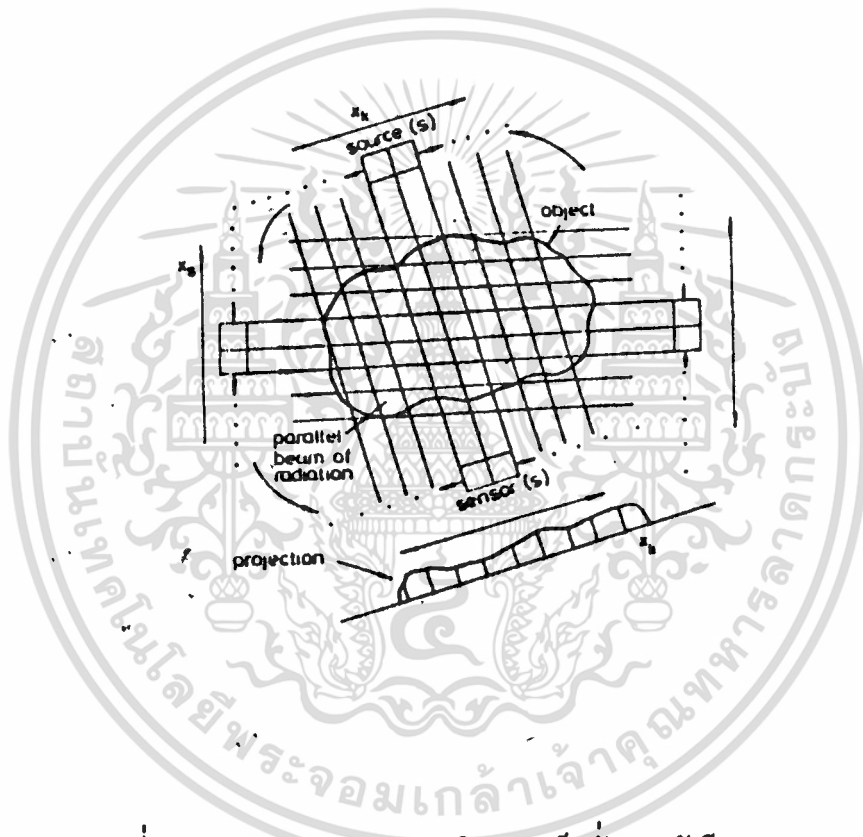
3.1 การสร้างภาพตัดขวางวิธีส่งผ่านโดยรังสีเอกซ์ (X-Ray Transmission Computed Tomography)

การสร้างภาพตัดขวางวิธีส่งผ่านโดยรังสีเอกซ์ เป็นวิธีแรกที่พัฒนาขึ้น และปัจจุบันก็เป็นวิธีสร้างภาพตัดขวางโคซิค์เจนที่ชัดเจนที่สุดซึ่งที่ใดกล่าวนำมาแล้วในบทที่ 1 ข้อสมมุติฐานเบื้องต้นที่คำนึงถึงคือ รังสีเอกซ์ที่ใช้ถือว่าเป็น Monoenergetic X-ray และวัตถุหรือร่างกายที่ต้องการคุณภาพตัดขวาง ถือว่ามีสัมประสิทธิ์ของการดูดซับรังสีแบบเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) วิธีการที่จะได้โปรเจกชันที่ใช้ในการคำนวณภาพตัดขวาง แบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 โปรเจกชันที่ได้จากรังสีขนาน (Parallel beam projection system)

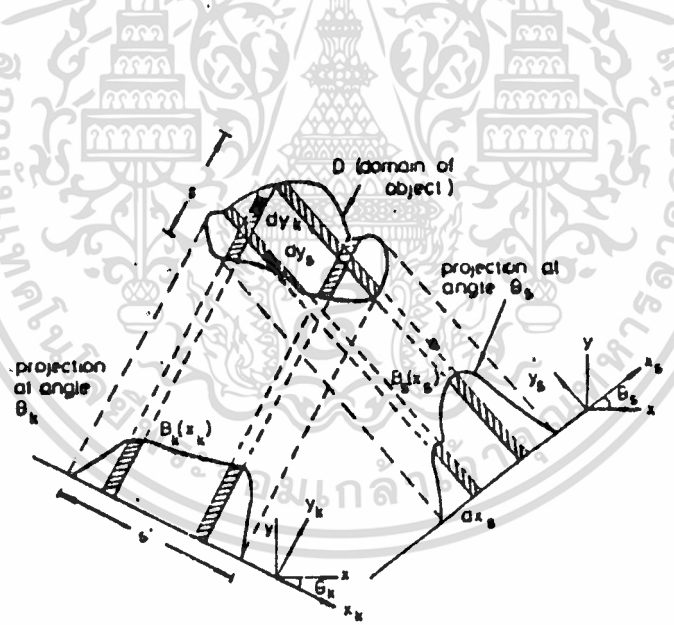
การสร้างโปรเจกชันจากรังสีขนาน เป็นวิธีที่เข้าใจง่าย และประหยัดในการสร้าง แต่เป็นวิธีที่เสียเวลาในการกวาดรังสีมาก จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันในการค้า ลักษณะของการเกิดโปรเจกชันในวิธีนี้แสดงไว้ในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 เรขาคณิตของการเกิดโปรเจกชันจากรังสีขนาน

โดยวิธีนี้เราจะใช้ลำรังสีเอ็กซ์ลำแคบๆ (pencil beam) ฉายผ่านวัตถุ รังสีเอ็กซ์ที่ทะลุผ่านวัตถุ ก็จะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี (Detector) จากนั้นก็จะชนับแหล่งกำเนิดรังสีและตัวตรวจจับไปพร้อมกัน จนได้โปรเจกชันทุกๆตำแหน่งของวัตถุในระนาบนี้ จากนั้นระนาบของการกวาดรังสีก็จะชนับไปอีก 1 องศา และทำการกวาดรังสีใหม่ จนกระทั่งครบ 180 ระบาย จากนั้นก็จะนำโปรเจกชันทุกองศาไปประมวลสัญญาณสร้างภาพตัดขวางขึ้น ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการสร้างภาพตัดขวางขนาด 512×512 จุด โดยในหนึ่งระนาบของการกวาดรังสีใช้โปรเจกชัน 512 ตำแหน่ง ดังนั้นเราจะมีข้อมูลโปรเจกชันที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ $512 \times 180 = 46,080$ ข้อมูล

พิจารณาคณิตศาสตร์ของการเกิดโปรเจกชันในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 คณิตศาสตร์ของการเกิดโปรเจกชันจากรังสีขนาน

พื้นที่โปรเจกชันที่มุม θ_k ใดๆ โดย $k = 1, 2, 3, \dots, 180$ เมื่อเทียบกับแกนอ้างอิง (x, y) ก็สามารรถคำนวณได้จากสมการ

$$P_k(x_k) dx_k = \int_{\Omega} f(x, y) dy_k dx_k \quad (3.1)$$

โดย

$$f(x, y) = \text{ฟังก์ชันภาพที่จุดใดๆ } (x, y)$$

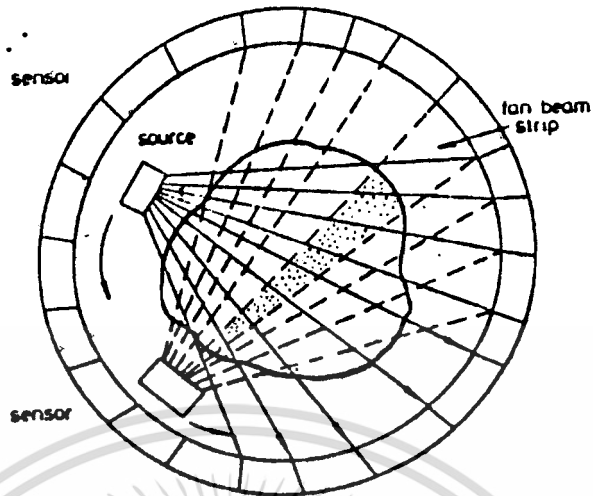
และ

$$x_k = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k$$

$$y_k = -x \sin \theta_k + y \cos \theta_k$$

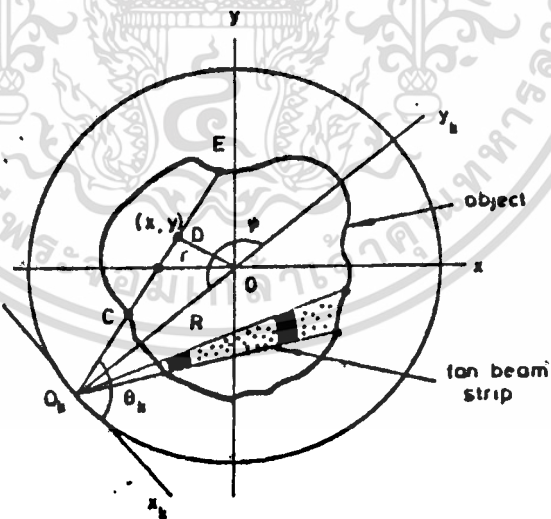
3.1.2 โปรเจกชันที่ได้จากรังสีกระจาย (Fan beam projection system)

โดยวิธีการสร้างโปรเจกชันจากรังสีขนาน จะเห็นว่าในแต่ละระนาบของการกวาดรังสี จำเป็นต้องกวาดรังสีตามแนวขนานที่แต่ละตำแหน่งจนผ่านวัตถุหมด จึงเสียเวลามากและไม่เป็นที่นิยมใช้กันในทางการค้า ในวิธีรังสีกระจาย เราจะให้แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ฉายรังสีกระจาย (Fan beam) ผ่านระนาบทั้งหมดที่สนใจ ดังนั้นตัวตรวจวัดปริมาณรังสีจะต้องวางเรียงเป็นแถว ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบการเกิดโปรเจกชันจากรังสีกระจาย

พิจารณาคณิตศาสตร์ของการเกิดโปรเจกชัน ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 คณิตศาสตร์ของการเกิดโปรเจกชันจากรังสีกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรเจกชันในตำแหน่งของแหล่งกำเนิดรังสี ทำมุม ψ กับแกนอ้างอิง (x,y) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_\psi(\theta_k) = \int_{\ell_1(\theta_k)}^{\ell_2(\theta_k)} f(x,y) dr_k \quad (3.2)$$

โดย

$$\theta_k = \tan^{-1} \left(\frac{-x \cos \psi - y \sin \psi + R}{-x \sin \psi + y \cos \psi} \right)$$

$$r_k^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\psi - \theta)$$

สำหรับในรูปที่ 5 เราจะได้ความสัมพันธ์ของระยะต่างๆดังนี้

เมื่อ O_k เป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดรังสี

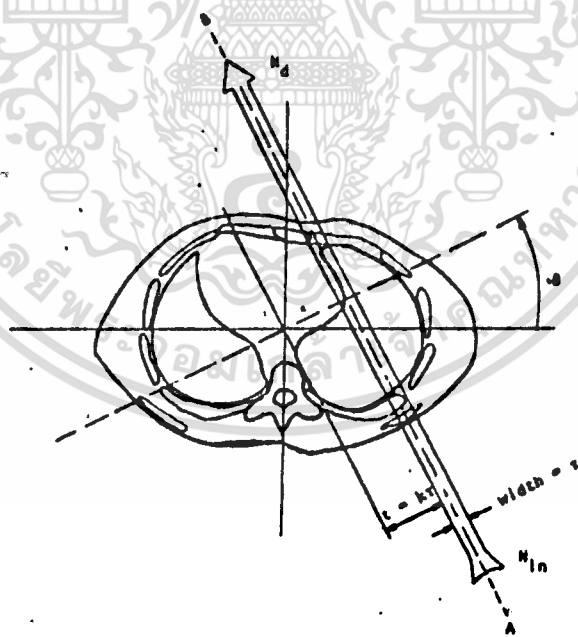
ดังนั้น

$$\ell_1(\theta_k) = O_k C ; \quad \ell_2(\theta_k) = O_k E$$

$$r_k = O_k D ; \quad R = O O_k ; \quad r = OD$$

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรเจกชัน กับปริมาณรังสี

พิจารณารังสีขนาน ฉายผ่านส่วนเนื้อเยื่อของร่างกาย ดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรเจกชันกับปริมาณรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ N_{in} = จำนวนโฟตอน (photon) ทั้งหมดที่ผ่านเข้าไปในวัตถุจากทางด้าน A (วัดในช่วงของเวลา)

N_d = จำนวนโฟตอนทั้งหมดที่ทะลุออกมาทางด้าน B (วัดในช่วงเวลาเดียวกับ N_{in})

ในระนาบที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 นี้ จะเห็นว่า วัตถุทั้งหมดสามารถแทนด้วยสัมประสิทธิ์ของการดูดซึมเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient)

ให้ $\mu(x,y)$ = สัมประสิทธิ์ของการดูดซึมเชิงเส้นที่ตำแหน่ง (x,y) จะเห็นว่า $f(x,y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทา (gray level) ของภาพ จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ $\mu(x,y)$

เมื่อ \mathcal{O} เป็นความกว้างของลำรังสี ซึ่งถ้าเล็กเพียงพอแล้ว และสมมติให้รังสีเอกซ์มีคุณสมบัติเป็น Monoenergetic ค่าของ N_d และ N_{in} จะมีความสัมพันธ์กันตามสูตรของ Lambert-Beer [1] ดังนี้

$$N_d = N_{in} \exp \left[- \int_{\text{ray}} \mu(x,y) ds \right] \quad (3.3)$$

หรือ

$$\int_{\text{ray}} \mu(x,y) ds = \ln \left[\frac{N_{in}}{N_d} \right]$$

นั่นก็คือ

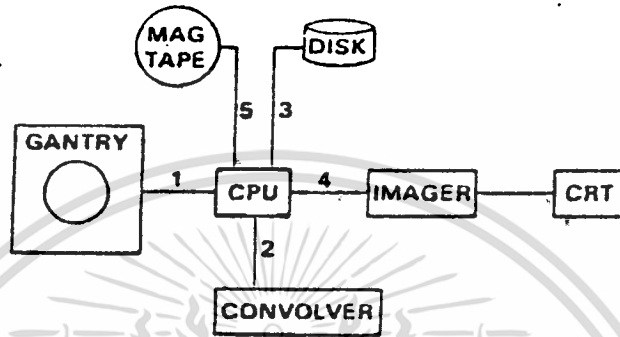
$$P_{\theta}(k\mathcal{O}) = \int_{\text{ray}} \mu(x,y) ds = \ln \left[\frac{N_{in}}{N_d} \right] \quad (3.4)$$

ในสมการ (3.4) สรุปได้ว่า ค่าข้อมูลของโปรเจกชัน จะเท่ากับผลจากการหาค่าเฉลี่ยของจำนวนโฟตอนทั้งหมดก่อนผ่านเข้าวัตถุ หาค่าเฉลี่ย จำนวนโฟตอนที่ทะลุออกจากวัตถุ โดยวัดในช่วงเวลาเดียวกัน

3.3 โครงสร้างของเครื่องถ่ายภาพตัดขวาง

โครงสร้างของเครื่องถ่ายภาพตัดขวาง สามารถเขียนเป็นโคอะแกรมได้

ผังรูปที่ 3.7



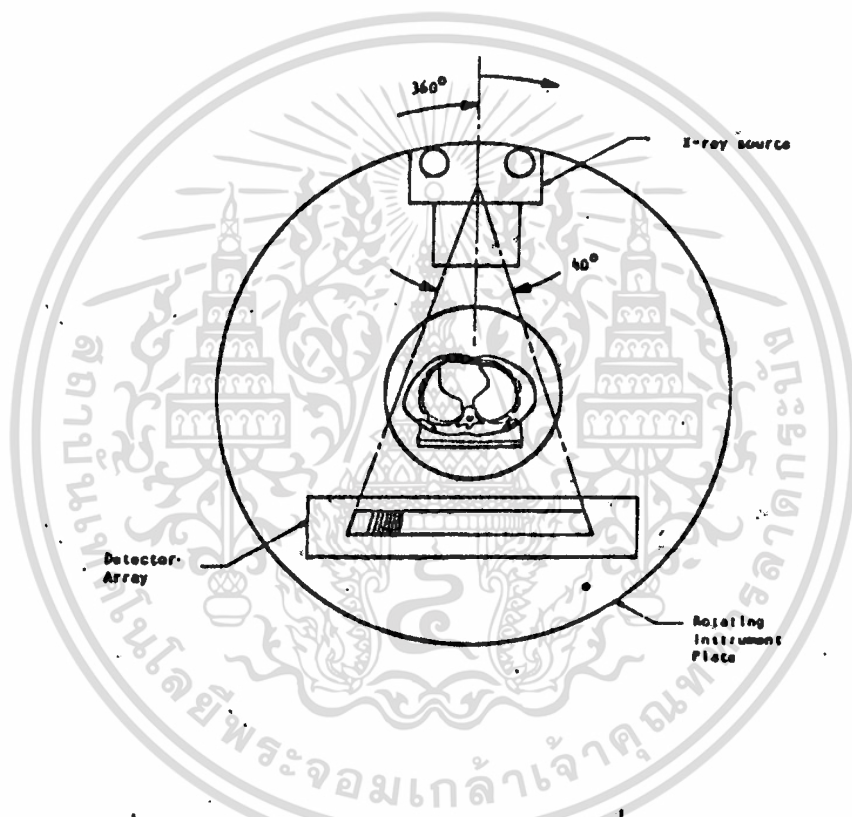
รูปที่ 3.7 โคอะแกรมของคอมพิวเตอร์ตรวจร่างกาย

ส่วนของ Gantry ก็คือ ส่วนของการกวาดรังสีเอ็กซ์ เพื่อให้ได้โปรเจกชันเพียงพอ เขามาประมวลสัญญาณใน ซี พี ยู โดยใช้โปรแกรมจาก Image Processor สัญญาณที่ได้จากการประมวลการสร้างภาพเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปเก็บไว้ในเทปแม่เหล็ก หรือแผ่นจานแม่เหล็ก เมื่อต้องการดูภาพ ข้อมูลภาพก็จะถูกนำมาสร้างภาพโดยส่วนของ Imager และแสดงผลออกมาทางจอ ซี อาร์ ที

ในส่วนของ Gantry ที่ใช้อยู่โดยทั่วไป จะเป็นแบบรังสีกระจายทั้งสิ้น เพราะใช้เวลาในการกวาดรังสีน้อยกว่าแบบรังสีขนานมาก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

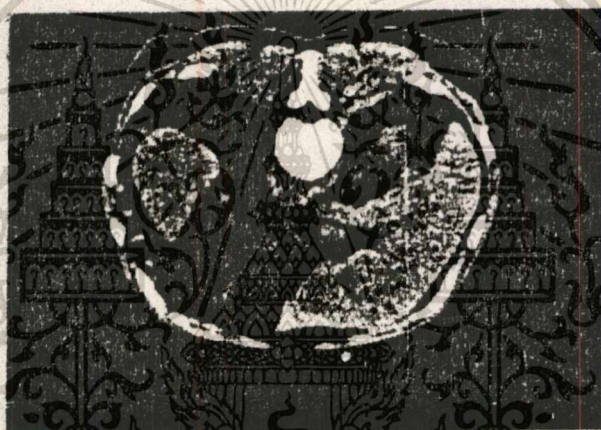
3.3.1 รังสีกระจายชนิดแหล่งกำเนิดและตัวตรวจวัดปริมาณรังสีหมุนไปพร้อมกัน (Fan-Beam Rotational Scanners)

Gantry ชนิดนี้ ทั้งแหล่งกำเนิดรังสีและตัวตรวจวัด ซึ่งวางเรียงคั่นกันเป็นแถว จะติดกับส่วนโยค (Yoke) ของตัว Gantry เอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Gantry แบบรังสีกระจายชนิดแหล่งกำเนิดรังสีและตัวตรวจวัดปริมาณรังสีหมุนไปพร้อมกัน

ขณะที่โยคหมุนรอบๆตัวคนไข้ ทั้งแหล่งกำเนิดและตัวตรวจรับรังสีจะหมุนตามไปด้วย โปริเจ็คชั่นในระนาบต่างๆจะถูกสุ่มในช่วงเวลาของการหมุนของโยค เวลาในการกวาดรังสีชนิดนี้ ใช้เวลาตั้งแต่ 1 ถึง 20 วินาที มุมของรังสีกระจายจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 45 องศา แกวของตัววัดปริมาณรังสีโดยปกติจะมีตั้งแต่ 500 ถึง 700 ตัวภาพที่สร้างกลับ จะมีขนาดตั้งแต่ 256×256 จนถึง 512×512 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 3.9

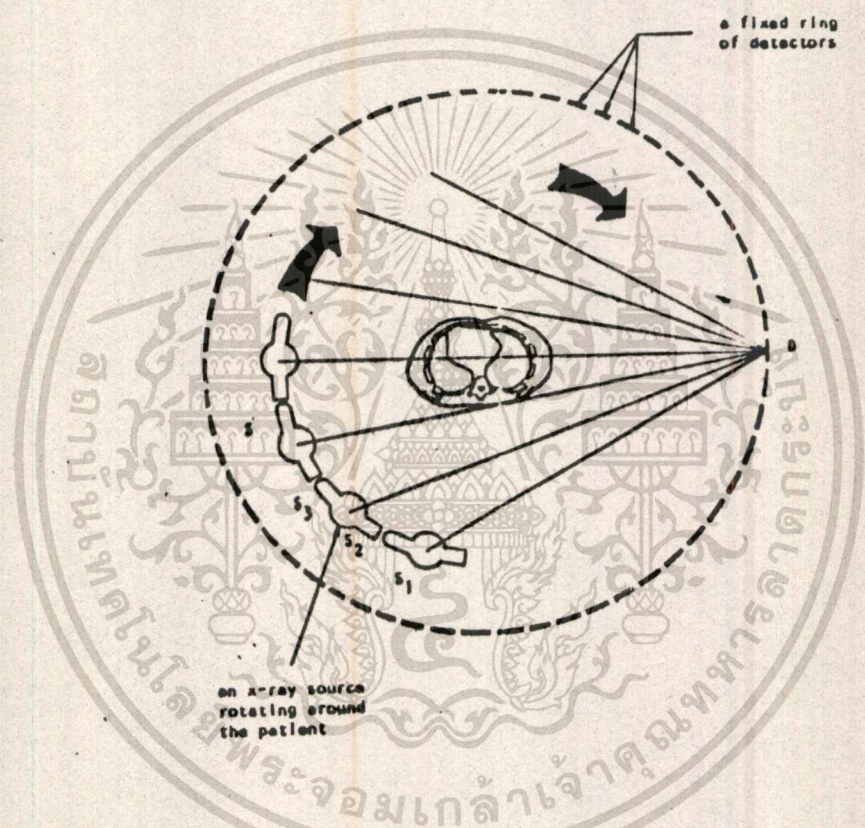


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพตัดขวาง ของลำตัวบริเวณท้องที่ได้จาก Gantry ชนิดแหล่งกำเนิดและตัวตรวจวัดปริมาณรังสีหมุนไปพร้อมกัน

3.3.2 รังสีกระจายชนิดตัววัดปริมาณรังสีคงที่ ขณะที่แหล่งกำเนิดรังสีหมุน

(Fixed Detectors Rotating Source Scanners)

Gantry ชนิดนี้ ประกอบไปด้วย ตัวตรวจจับปริมาณรังสีติดตั้งอยู่บนโยค โดยรอบวงกลมซึ่งไม่มีการขยับ ในขณะที่ทำการกวาดรังสี แหล่งกำเนิดรังสีจะหมุนอยู่ภายใน โยคนี้รอบๆตัวคนไข้ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Gantry แบบรังสีกระจายชนิดตัววัดปริมาณรังสีคงที่ แหล่งกำเนิดรังสีหมุน

ในขณะที่แหล่งกำเนิดรังสีหมุน ข้อมูลโปรเจกชันจะถูกสุ่มจากตัวตรวจจับ ในช่วงเวลาที่กำหนด จะเห็นว่าชุดข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับรังสีตัวหนึ่ง หลังจากการกวาดรังสีรอบวัตถุแล้ว ก็คือ ข้อมูลของการกวาดรังสีแบบกระจายนั่นเอง ดังนั้น วิธีการในการสร้างภาพกลับ (Reconstruction Algorithm) จะเหมือนกับแบบรังสีกระจายนั่นเอง โดยวิธีนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นแบบตัวตรวจจับปริมาณรังสีชนิดกระจาย (detector fan)

ในรูปที่ 3.11 เป็นภาพตัดขวางที่สร้างจากเครื่องถ่ายภาพตัดขวางชนิดตัวตรวจจับปริมาณรังสีแบบกระจาย



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างภาพตัดขวางของลำตัวบริเวณเอวที่ได้จาก Gantry ชนิดตัววัดปริมาณรังสีคงที่แหล่งกำเนิดรังสีหมุน

บทที่ 4

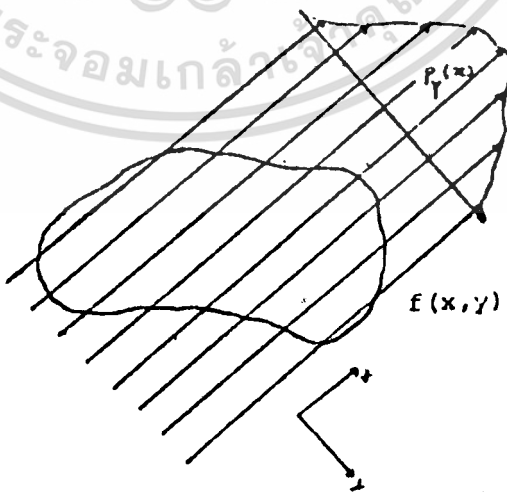
: การฉายภาพตัดขวางโดยวิธีคอนโวลูชัน

CONVOLUTIONAL RECONSTRUCTION METHOD

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงวิธีการกว้าง ๆ ในการสร้างภาพตัดขวางซึ่งสามารถแยกออกเป็นวิธีใหญ่ ๆ ได้ 3 แบบ คือ การส่งผ่าน, การแผ่ และ การสะท้อน ในบทนี้ จะได้กล่าวถึงคณิตศาสตร์ในการสร้างภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการคอนโวลูชันที่ใช้กับการสร้างภาพตัดขวางแบบการส่งผ่านของรังสีเอ็กซ์ที่ฉายตามแนวขนาน

4.1 การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier Transform Reconstruction Method)

การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มเป็นวิธีพื้นฐานซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่า ถ้าเราได้ข้อมูลจากโปรเจกชันมากเพียงพอ เราก็สามารถสร้างภาพตัดขวางขึ้นมาได้ วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติของฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม 1 มิติของโปรเจกชันของภาพ 2 มิติ จะเท่ากับฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของภาพตัดขวางของวัตถุนั้น



รูปที่ 4.1 การเกิดโปรเจกชันในแนวแกน x

สมมติให้ $f(x,y)$ แทนฟังก์ชันภาพของรูปตัดขวางที่กำลังพิจารณา
ให้ $F(u,v)$ เป็นฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบ 2 มิติของ $f(x,y)$

ดังนั้น จากสมการ (2.18) ในบทที่ 2

$$F(u,v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j2\pi(ux+vy)] dx dy \quad (4.1)$$

พิจารณาโปรเจกชันของภาพ ตามแนวแกน x จะได้

$$p_y(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) dy \quad (4.2)$$

เมื่อทำฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันนี้

$$P_y(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p_y(x) \exp[-j2\pi ux] dx \quad (4.3)$$

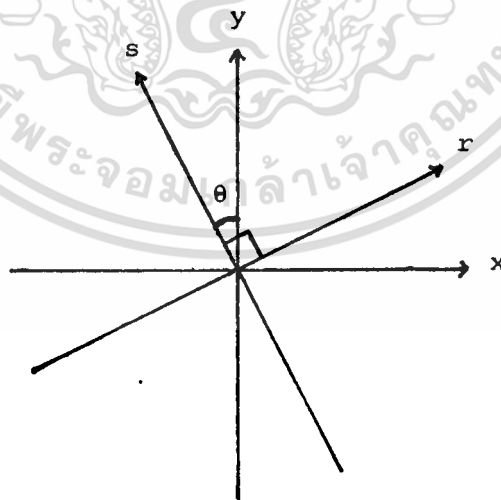
แทนค่า $p_y(x)$ จาก (4.2) ลงใน (4.3)

$$P_y(u) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j2\pi ux] dx dy \quad (4.4)$$

จากสมการที่ (4.4) สามารถกล่าวได้ว่า ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของ
โปรเจกชันจะเท่ากับ central profile ของฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชันภาพ
นั่นคือ

$$P_y(u) = F(u,0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j2\pi ux] dx dy \quad (4.5)$$

ต่อไปพิจารณาโปรเจกชันที่ทำมุม θ ใด ๆ ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ระบาย r,s ที่หมุนทำมุม θ กับระบาย x,y

เราสามารถนิยามระนาบของการหมุนดังนี้

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad , \quad s = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (4.6)$$

ให้ $p(r_1, \theta)$ เป็นโปรเจกชันที่ทำมุมกับแกน y เท่ากับ θ และอินทิเกรตตามเส้นซึ่งขนานกับ t และห่างจากจุดกำเนิดเท่ากับ r_1 .

$$p(r_1, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) ds \quad (4.7)$$

เมื่อ

$$r_1 = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta \quad (4.8)$$

ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันคือ

$$P(R_1, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p(r_1, \theta) \exp[-2j\pi r_1 R_1] dr_1 \quad (4.9)$$

ถ้าพิจารณาโปรเจกชันทั้งหมดของระนาบ จาก (4.7) ถึง (4.9) จะได้

$$P(R, \theta) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] dx dy \quad (4.10)$$

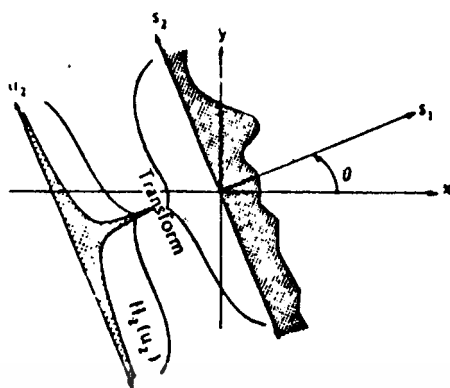
แต่เนื่องจาก
ดังนั้น

$$u = R \cos \theta \quad \text{และ} \quad v = R \sin \theta$$

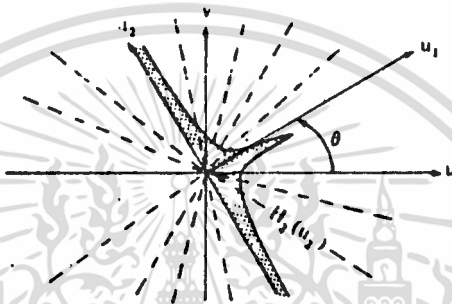
$$\begin{aligned} P(R, \theta) &= \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-2j\pi (ux + vy)] dx dy \\ &= F(u, v) \end{aligned} \quad (4.11)$$

นั่นคือเมื่อเรารู้ค่าฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของ $P(R, \theta)$ สำหรับทุก ๆ ค่าตัวแปร R และ θ ดังแสดงในรูปที่ 3 เราก็สามารถคำนวณหาฟังก์ชันภาพได้จากการทำอินทิเกรตฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของ

$$f(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} F(u, v) \exp[2j\pi (ux + vy)] du dv \quad (4.12)$$



(a)



(b)

รูปที่ 4.3 การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (a) โปรเจกชัน และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (b) การประกอบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ โปรเจกชันขึ้นเป็นภาพ

วิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มนี้ สามารถแสดงการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ได้ง่าย ในกรณีที่ภาพเป็นชนิดต่อเนื่อง แต่เนื่องจากภาพและโปรเจกชันที่ใช้ในการคำนวณเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องจึงต้องใช้การ interpolation ในระนาบโพล่าที่อยู่ยาก อีกประการหนึ่งที่ทำให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมก็คือ จากสมการที่ (4.10) และ (4.12) ภาพตัดขวางสามารถสร้างกลับมาได้ของอาศัยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันทุก ๆ ระยะเวลาของการกวาดรังสี ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำต้องใช้ส่วนฮาร์ดแวร์สแกนโปรเจกชันทุก ๆ ระยะเวลา เพื่อให้ได้ข้อมูลครบก่อนที่จะนำไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ นั่นก็ทำให้คอมพิวเตอร์เสียเวลา

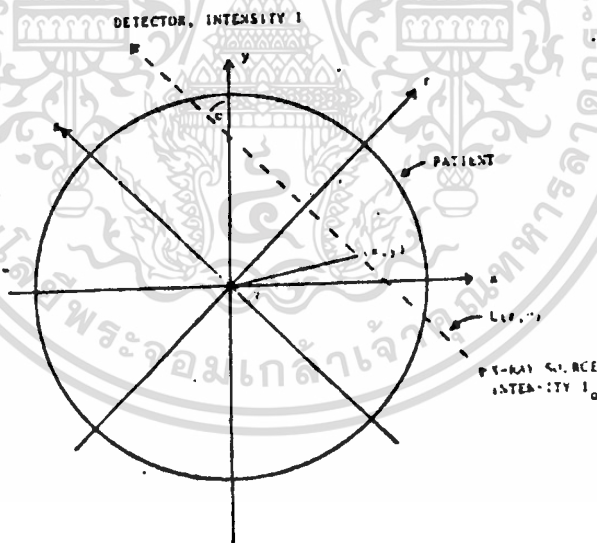
รอยข้อมูลโดยเปล่าประโยชน์ วิธีสร้างภาพตัดขวางอีกวิธีหนึ่งก็คือ วิธีคอนโวลูชันซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก สามารถจะส่งข้อมูลเข้าไปประมวลผลได้ทันทีเมื่อส่วนฮาร์ดแวร์สแกนโปรเจกชันเสร็จในระนาบใดระนาบหนึ่ง ดังจะได้อีกต่อไป

4.2 การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีคอนโวลูชัน (Convolutional reconstruction Method)

โดยวิธีคอนโวลูชันจะใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชันภาพตัดขวาง $f(x,y)$ ซึ่งถือว่ามีสมบัติการดูดซึมแบบเชิงเส้น (linear absorption) กับโปรเจกชัน $p(r,\theta)$

พิจารณาฟังก์ชันภาพตัดขวาง $f(x,y)$ ให้ $F(X,Y)$ เป็นฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $f(x,y)$ โดย X,Y คือแกนพิกัดทางความถี่ ดังนั้น

$$F(X,Y) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-2j\pi(Xx+Yy)] dx dy \quad (4.13)$$



รูปที่ 4.4 ระบบแกนพิกัดที่ใช้ในการคำนวณ

จากรูปที่ 4.4 ถ้าเราหมุนแกนพิกัด x, y เป็นมุม θ ใด ๆ ดังนั้นเราสามารถนิยามแกนพิกัด r, s ใหม่ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

หรือ

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad s = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับแกนพิกัดทางความถี่ จะได้ว่า

$$X = R \cos \theta, \quad Y = R \sin \theta \quad (4.14)$$

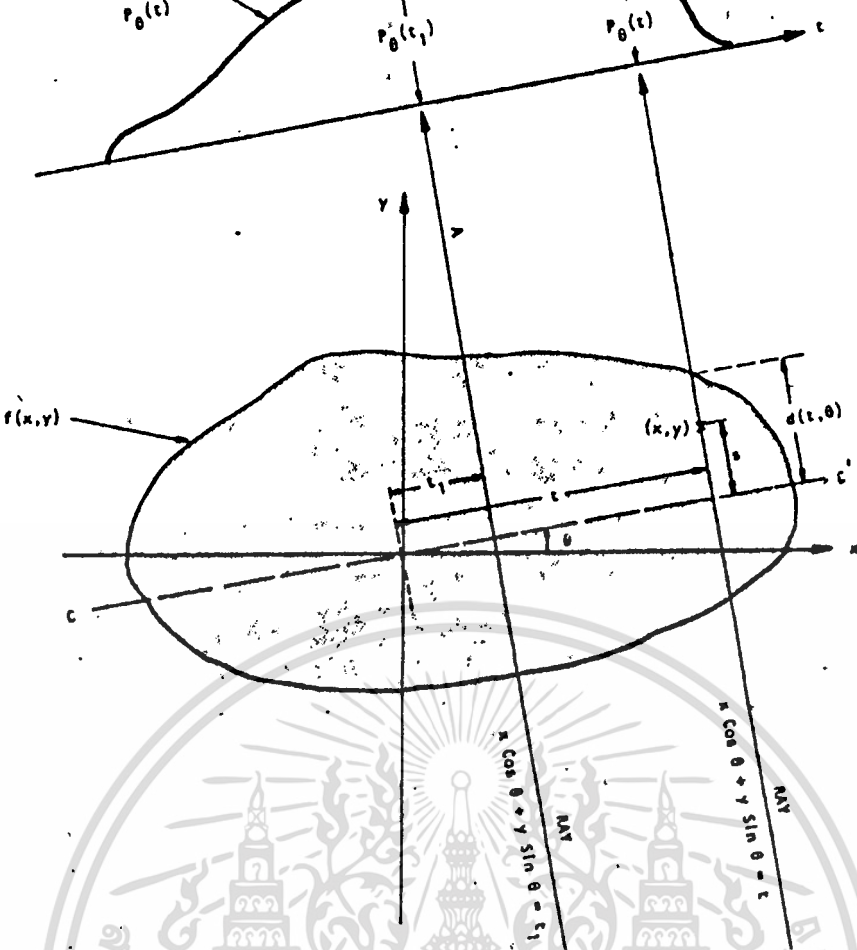
จากสมการ (4.13) และ (4.14) เราอาจเขียนฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $f(x, y)$ อยู่ในระนาบพิกัดของ r, θ โดย

$$F(R, \theta) = \iint f(x, y) \exp[-2j\pi Rr] dr ds \quad (4.15)$$

จัดเทอมของสมการ (4.15) ใหม่ จะได้

$$F(R, \theta) = \int \exp[-2j\pi Rr] \left[\int f(x, y) ds \right] dr \quad (4.16)$$

พิจารณาการเกิดโปรเจกชันของรังสีเอ็กซ์ที่ฉายผ่านวัตถุในแนวขนาน ซึ่งตั้งฉากกับระนาบ r, s ที่ทำมุม θ กับระนาบ x, y ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเกิดโปรเจกชันของรังสีเอกซ์ในแนวขนาน

จากรูปที่ 4.5 โปรเจกชันตามแนวขนาน ณ มุม θ ใด ๆ จะเท่ากับ

$$p(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) ds$$

ดังนั้น จากสมการ (4.16)

$$F(R, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p(r, \theta) \exp[-2j\pi Rr] dr = P(R, \theta) \tag{4.17}$$

จากสมการ (4.13) อินเวอร์สฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $F(x, y)$ จะเท่ากับ

$$f(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} F(X, Y) \exp[2j\pi(Xx + Yy)] dx dy \tag{4.18}$$

ทรานส์ฟอร์มระนาบ x, y ไปยังระนาบ R, θ โดยใช้จาโคเบียน ดีเทอร์มิแนนต์ (Jacobian determinant) และสมการ (4.14)

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial R} & \frac{\partial x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial y}{\partial R} & \frac{\partial y}{\partial \theta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta & R \sin \theta \\ \sin \theta & R \cos \theta \end{vmatrix}$$

$$= R$$

ดังนั้น

$$dx dy = R dR d\theta \quad (4.19)$$

จากสมการ (4.18) , (4.19) เราสามารถเขียนอินทิกรัลเรย์ทรานส์ฟอร์มของ $F(x,y)$ ให้อยู่ในระนาบของ R, θ ดังนี้

$$\begin{aligned} f(x,y) &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} F(R, \theta) \exp[2j\pi Rr] R dR d\theta \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} F(R, \theta) \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] R dR d\theta \end{aligned} \quad (4.20)$$

โดยใช้กฎของ Hermitian symmetry of integrand เราจัดสมการ (4.20) ใหม่ เป็น

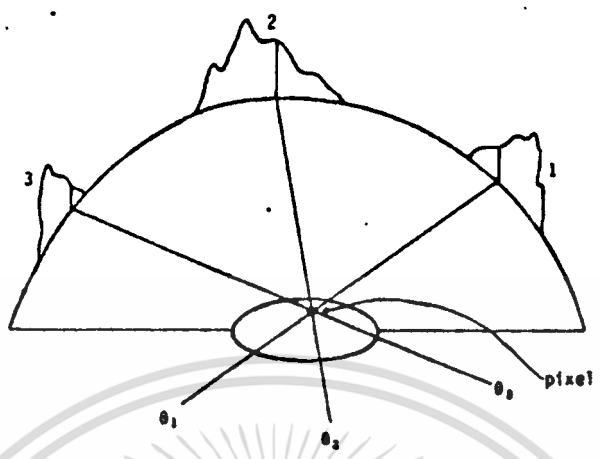
$$f(x,y) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} F(R, \theta) \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] |R| dR d\theta \quad (4.21)$$

จากสมการ (4.17)

$$f(x,y) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} P(R, \theta) \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] |R| dR d\theta \quad (4.22)$$

พิจารณาการสร้างตักขวางกลับ (Back projection algorithm)

จากโปรเจกชันโดยตรง ในรูป 4.6



รูปที่ 4.6 การสร้างภาพตัดขวางกลับจากโปรเจกชันโดยตรง

ทุก ๆ พิกเซลของภาพตัดขวางจะเกิดจากการเฉลี่ยของทุก ๆ โปรเจกชันที่ลากผ่าน ภาษานิยาม $\hat{f}(x,y)$ คือภาพที่ได้จากการสร้างภาพตัดขวางจากขบวนการนี้ ดังนั้น

$$\hat{f}(x,y) = \int_0^\pi p(r,\theta) d\theta \tag{4.23}$$

ถ้าแทน $p(r,\theta)$ ด้วยฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของ $P(R,\theta)$ ดังนั้น

$$p(r,\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} P(R,\theta) \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] dR \tag{4.24}$$

แทนค่า $p(r,\theta)$ จากสมการ (4.24) ลงในสมการ (4.23)

$$\hat{f}(x,y) = \int_0^\pi \int_{-\infty}^{\infty} P(R,\theta) \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] dR d\theta \tag{4.25}$$

จากสมการ (4.25) คูณ $|R|/|R|$

$$\hat{f}(x,y) = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P(R,\theta)}{|R|} \exp[2j\sqrt{R}(x \cos \theta + y \sin \theta)] |R| dR d\theta \quad (4.26)$$

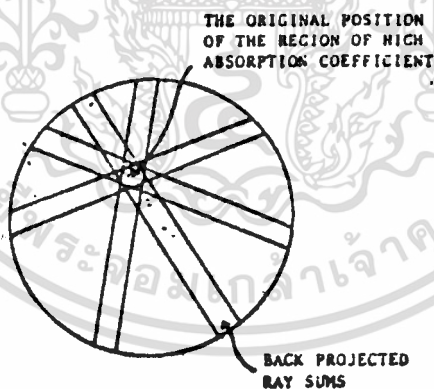
จาก (4.22) และถ้าให้ $\hat{F}(R,\theta)$ เป็นฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $\hat{f}(x,y)$ จะได้

$$\hat{F}(R,\theta) = \frac{P(R,\theta)}{|R|} = \frac{F(R,\theta)}{|R|} \quad (4.27)$$

ดังนั้นจะเห็นว่าฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของภาพตัดขวางกลับ มีความสัมพันธ์กับภาพตัดขวางจริง จากทฤษฎีของคอนโวลูชันที่มุม θ ใด ๆ โดยสมมติให้อินเวอร์สฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $1/|R|$ เท่ากับ $1/|r|$ ดังนั้น

$$\hat{f}(r,\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(r',\theta) \frac{1}{|r-r'|} dr' \quad (4.28)$$

จากสมการที่ (4.28) นี้แสดงให้เห็นชัดว่า ภาพตัดขวาง โดยวิธีตรง $\hat{f}(r,\theta)$ ย่อมมีความผิดพลาดไปจากภาพตัดขวางจริง $f(r,\theta)$ ที่เรียกว่า Star artifact ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นผลมาจากการคอนโวลูชันภาพจริงกับฟังก์ชัน $1/|r|$



รูปที่ 4.7 การเกิดความผิดพลาดในการสร้างภาพตัดขวางกลับจากโปรเจกชันโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อขจัดความผิดพลาดนี้ เรานิยาม

$$p^*(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} P(R, \theta) |R| \exp[2j\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta)] dR \tag{4.29}$$

ดังนั้น จากสมการ (4.22) ก็จะได้

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} p^*(r, \theta) d\theta \tag{4.30}$$

ภาพตัดขวางกลับที่ได้จากสมการ (4.30) ก็คือภาพตัดขวางที่ได้จากการคอนโวลูชันของโปรเจกชันในสมการ (4.29)

พิจารณาสมการ (4.29) ในระนาบความถี่

$$P^*(R, \theta) = H(R, \theta) P(R, \theta) \tag{4.31}$$

โดย

$$h(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} |R| \exp(2j\pi Rr) dR \tag{4.32}$$

ถ้าพิจารณาสมการ (4.31) ในแง่ของความถี่ นั่นก็คือสมการของการกรองความถี่ โดยมี $H(R, \theta)$ เป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจรงกรองความถี่ ดังนั้น การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Filtered Back Projection Algorithm

จากสมการ (4.29) และ (4.30) จะเห็นว่าความถูกต้องของการสร้างภาพตัดขวางกลับขึ้นอยู่กับทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน $h(r, \theta)$ เป็นอย่างมาก $h(r, \theta)$ ในทางทฤษฎีจะเท่ากับสมการ (4.32) แต่จะไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ถึงแม้ว่าเราสามารถจะสร้างวงจรถ่ายทอดตามสมการ (4.32) ได้ในแง่ของดิจิทัลฟิลเตอร์ เหตุผลก็คือจะเกิดความผิดพลาดที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ของกิ๊บส์ (Gibbs phenomenon) ภาพตัดขวางที่สร้างกลับจะเกิดเป็นริ้ว ๆ เรียกว่า Ringing effect

ในช่วงเวลา 10 กว่าปีที่ผ่านมา นักวิจัยหลายท่านที่ทำการวิจัยในเรื่องนี้ได้เสนอฟิลเตอร์ที่ใช้ในการสร้างตัดขวางกลับในวิธีคอนโวลูชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพดีจะกล่าวต่อไปนี้

ฟิลเตอร์ ที่ออกแบบโดย Ramachandran และ Lakshminarayanan (1971) [9] ซึ่งกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h(0) = \pi / 2a^2$$

$$h(ka) = \begin{cases} -2/\pi k^2 a^2 & \text{สำหรับ } k \text{ ที่เป็นเลขจำนวนเต็มคู่} \\ 0 & \text{สำหรับ } k \text{ ที่เป็นเลขจำนวนเต็มคี่} \end{cases} \quad (4.33)$$

โดย

a = ความกว้างระหว่างฟลักเซลที่ใช้ในการสุ่ม

ฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่ของฟิลเตอร์นี้คือ

$$H(w) = |w| \text{sinc}^2(wa/2) \quad \text{สำหรับ } |w| \leq \pi/a \quad (4.34)$$

เมื่อ

$$\text{sinc}(wa/2) = \text{sampling function}$$

$$= \frac{\sin(wa/2)}{wa/2}$$

ฟิลเตอร์ที่ออกแบบโดย Shepp และ Logan (1974) [15] กำหนดให้

$$h(ka) = -4/[\pi a^2 (4k^2 - 1)] \quad \text{สำหรับ } k = 0, +1, +2, \dots \quad (4.35)$$

โดย

a = ความกว้างสำหรับฟลักเซลที่ใช้ในการสุ่ม

ฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่ของฟิลเตอร์นี้คือ

$$H(w) = \left| \frac{2}{a} \sin(wa/2) \right| \text{sinc}^2(wa/2) \quad (4.36)$$

สรุปขั้นตอนของการสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีคอนโวลูชันได้ดังนี้คือ

1. เก็บข้อมูลของโปรเจกชันซึ่งกระทำด้วยขบวนการทางฮาร์ดแวร์ ข้อมูลโปรเจกชันอาจได้มาจากการกวาดรังสีแบบรังสีขนาน (parallel beam) หรือ รังสีกระจาย (fan beam)
2. หลังจากการสแกนโปรเจกชันสำเร็จ 1 องศา ผ่านโปรเจกชันที่ได้ั้นไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ นั่นก็คือการทำคอนโวลูชัน $p(r, \theta)$ กับ ฟิลเตอร์ในสมการ (4.35)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำโปรเจ็คชันที่ผ่านการคอนโวลูชันแล้วในข้อ 2 มาสร้างภาพตัดขวางกลับด้วยสมการ (4.30)
4. ขยับระนาบของการสแกนไปอีก 1 องศา ทำการสแกนโปรเจ็คชันในข้อ 1 จนถึงข้อ 3 ใหม่ จนครบ 180 องศา



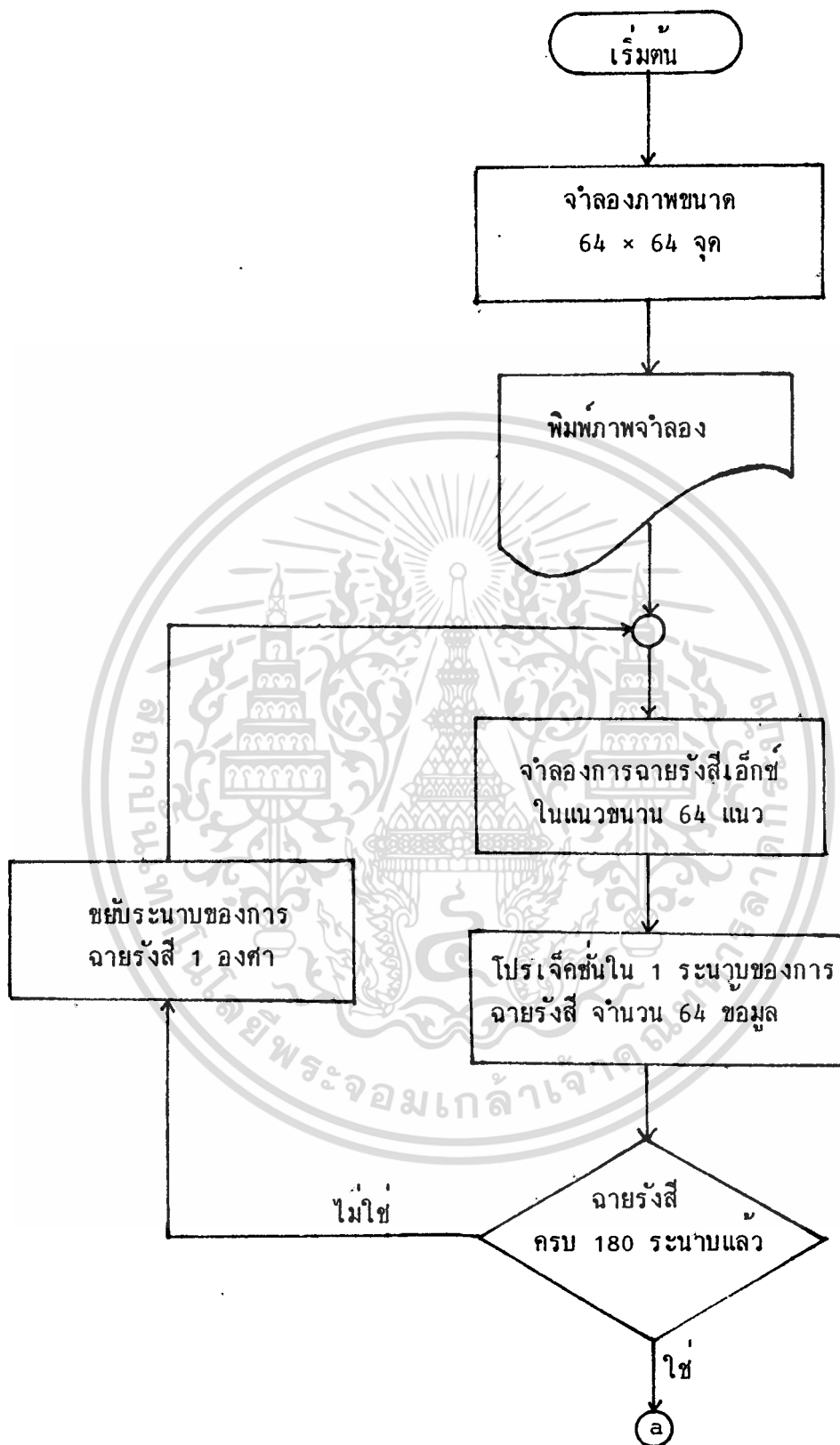
บทที่ 5

การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยคอมพิวเตอร์

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงเทคนิคและวิธีการสำคัญในการสร้างภาพตัดขวาง
บทที่ 4 ได้กล่าวถึงคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถพิสูจน์การสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลโปรเจกชัน
ที่มากเพียงพอ หลังจากที่ได้ศึกษาเทคนิคตลอดจนทำความเข้าใจกับคณิตศาสตร์ในการสร้าง
ภาพตัดขวางแล้ว จุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้ก็คือการทดสอบความเป็นไปได้ของ
คณิตศาสตร์ดังกล่าวโดยการจำลองภาพตัดขวางขึ้น จากนั้นก็จำลองการฉายรังสีเอ็กซเรย์
เพื่อที่จะได้โปรเจกชันนำไปประมวลผล สร้างภาพตัดขวางเปรียบเทียบกับภาพที่จำลองขึ้น
การทดสอบดังกล่าวกระทำทั้งโดยใช้เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ และ ไมโครคอมพิวเตอร์
หลังจากนั้นยังได้ทำการทดลองฉายรังสีเอ็กซเรย์ที่กำลังดำเนินการที่ศูนย์วิจัยและพัฒนา
ภาพตัดขวางของวัตถุอีกด้วย ดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

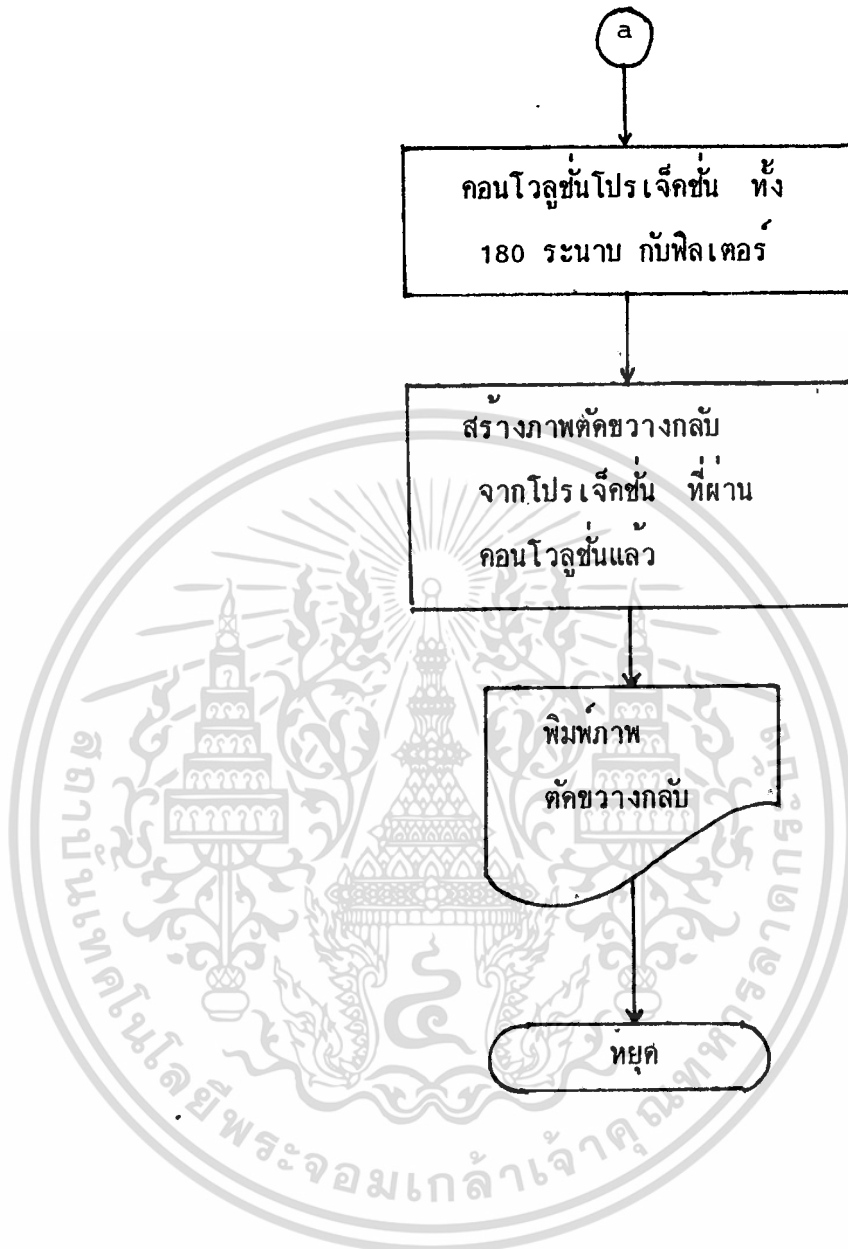
5.1 การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยเมนเฟรมคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองและการประมวลผลสัญญาณสร้างภาพตัดขวาง
เป็นคอมพิวเตอร์ของ NEC System 300 มีหน่วยความจำ 1.28 เมกะไบต์ ซึ่งติด
ตั้งอยู่ที่ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขต
เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ภาษาที่เหมาะสมที่ใช้ในการโปรแกรมคือภาษาฟอร์แทรน 4
(Fortran IV) การสร้างภาพตัดขวางในการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีคอนโวลูชัน ซึ่ง
รายละเอียดของคณิตศาสตร์ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 พิจารณาผังงานของโปรแกรมนี้นใน
รูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ผลงานของโปรแกรมการจำลองและการสร้างภาพตัดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 (ต่อ) ผังงานของโปรแกรมการจำลองและการสร้างภาพตัดขวาง

การจำลองภาพกระทำโดยการใส่รหัสสีของระดับเทา ซึ่งใช้ 32 ระดับโดยระดับ 0 เป็นระดับจางที่สุด และระดับ 31 เป็นระดับที่เข้มที่สุด ภาพที่ใช้ในการจำลองเป็นภาพขนาด 64×64 พิกเซล ซึ่งเป็นขนาดที่มากที่สุดสำหรับการพิมพ์ผลลัพธ์ในเครื่องพิมพ์ (Line printer) จะเห็นว่าการเข้ารหัสสีทั้ง $64 \times 64 = 4096$ ข้อมูลเป็นเรื่องที่กระทำลำบากถ้าภาพจำลองเป็นภาพที่ซับซ้อน ด้วยเหตุนี้จึงใช้ภาพตัวอักษร P ซึ่งใช้เพียง 2 ระดับ อีกภาพหนึ่งเป็นภาพตัดขวางร่างกายซึ่งใช้ระดับความเข้ม 3 ระดับคือระดับ 0, 16, และ 31

การเปลี่ยนระดับเทาซึ่งเป็นตัวเลข เพื่อพิมพ์ผลลัพธ์ในเครื่องพิมพ์ใช้โปรแกรมซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก

การจำลองการฉายรังสีเอกซ์ อาศัยสมการ (3.7) โดยให้ขนาดของลำรังสีเท่ากับขนาดของระหว่งพิกเซลที่ใช้ในการจำลอง การกวาดรังสีในแนวขนานนี้ทำการกวาดทั้งหมด 64 ครั้งในแต่ละระนาบ กะทำทั้งหมด 180 ระนาบรอบรูปจำลอง

ภาพตัดขวางที่สร้างกลับ อาศัยข้อมูลจากโปรเจกชันที่ผ่านการคอนโวลูชันแล้วทั้ง 180 ระนาบ โดยอาศัยสมการ (3.29)

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2, 3 โดยในรูป 2(a), 3(a) เป็นภาพที่แสดงระดับเทาของตัวอักษร P และภาพตัดขวางร่างกายที่จำลองขึ้น ในรูป 2(b), 3(b) เป็นภาพที่เปลี่ยนรหัสสีจากรดับเทาเพื่อแสดงด้วยเครื่องพิมพ์ ในรูป 2(c), 3(c) เป็นภาพของการสร้างภาพตัดขวางกลับจากภาพจำลองซึ่งแสดงด้วยระดับเทา และในรูป 2(d), 3(d) เป็นภาพของการสร้างภาพตัดขวางกลับที่แสดงด้วยเครื่องพิมพ์

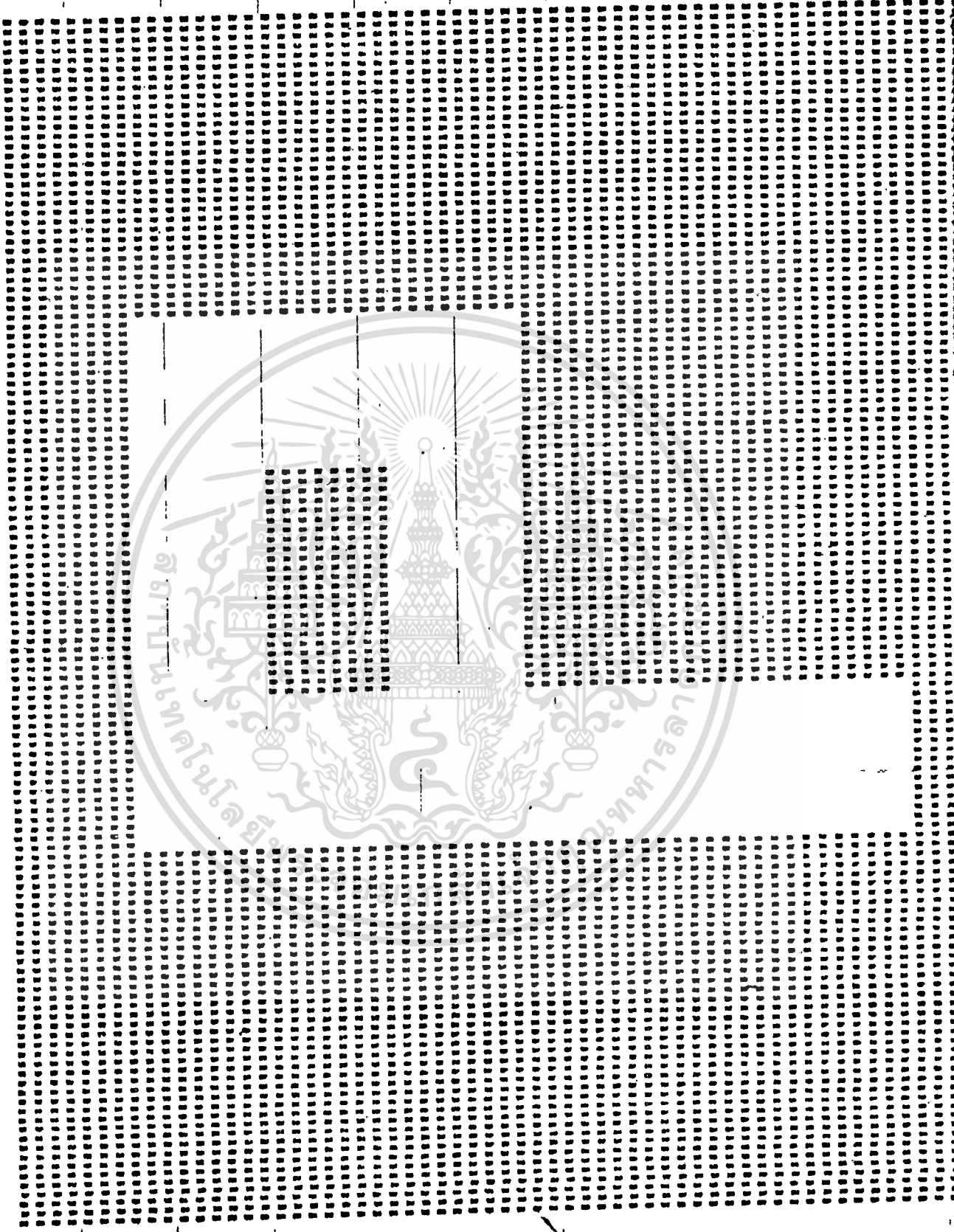
ข้อดีของการประมวลผลด้วยเมนเฟรมคอมพิวเตอร์คือ

1. มีหน่วยความจำที่มากพอในการประมวลผล
2. ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย

ข้อเสียของการประมวลผลด้วยเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่สำนักวิจัยก็คือ

1. การจำลองภาพที่ซับซ้อนกระทำได้ลำบาก นอกจากจะซื้ออุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณภาพทางอนาลอกเป็นสัญญาณภาพทางดิจิทัลซึ่งอธิบายในบทที่ 2 ซึ่งมีราคาแพงมาก
2. การแสดงผลทางเครื่องพิมพ์กระทำได้ไม่ชัดเจน เพราะพิกเซลแต่ละพิกเซลถูกจำกัดความท่างด้วยช่องไฟของเครื่องพิมพ์

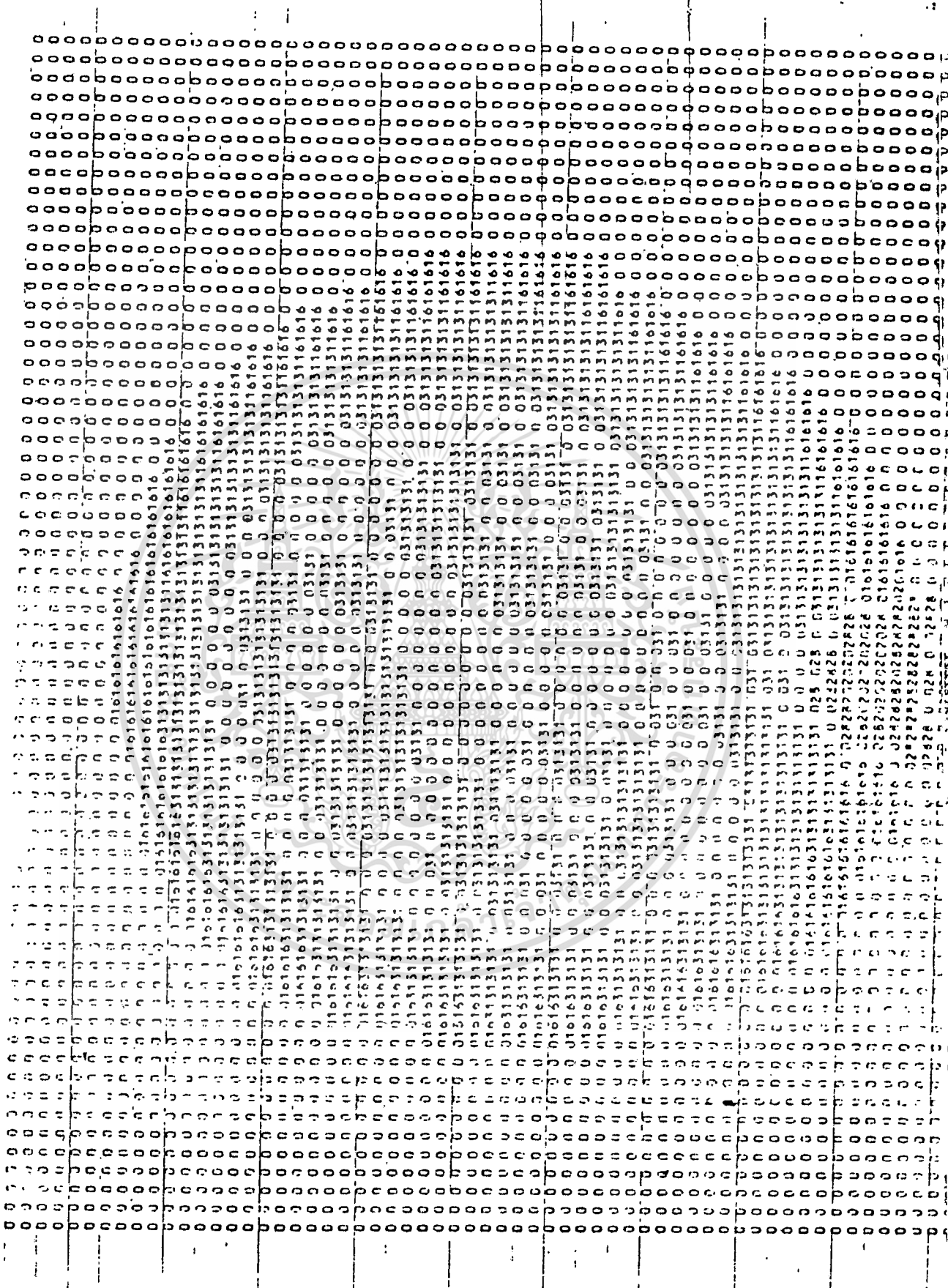
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5:2(b) อักษร P แสดงด้วย line printer

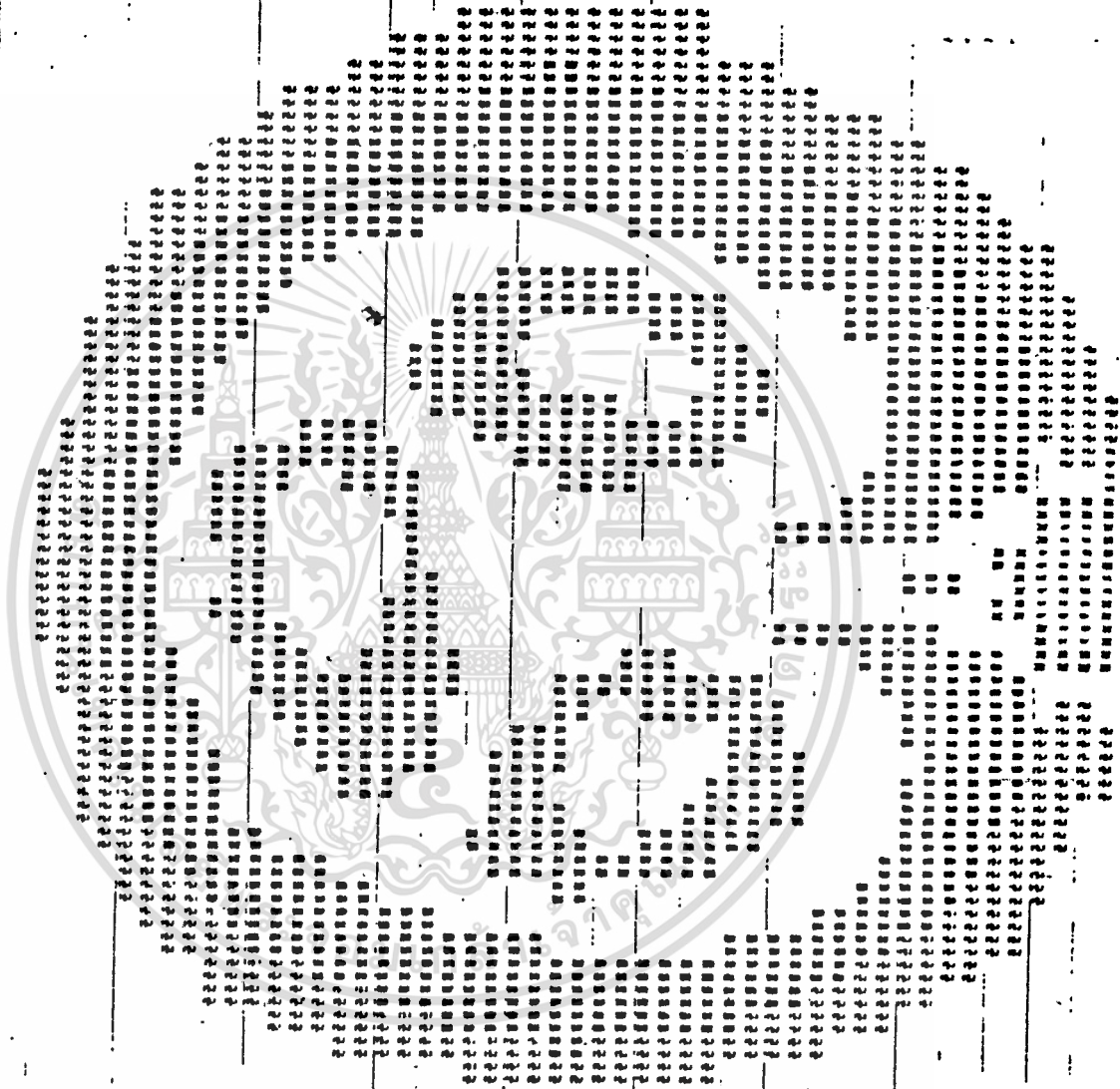
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Non Reconstruction)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3(a) ภาพตัดขวางของร่างกายแสดงด้วยความเข้ม 0-31



รูปที่ 5.3(a) ภาพตัดขวางของร่างกายแสดงด้วยความเข้ม 0-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ก่อน Reconstruction)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

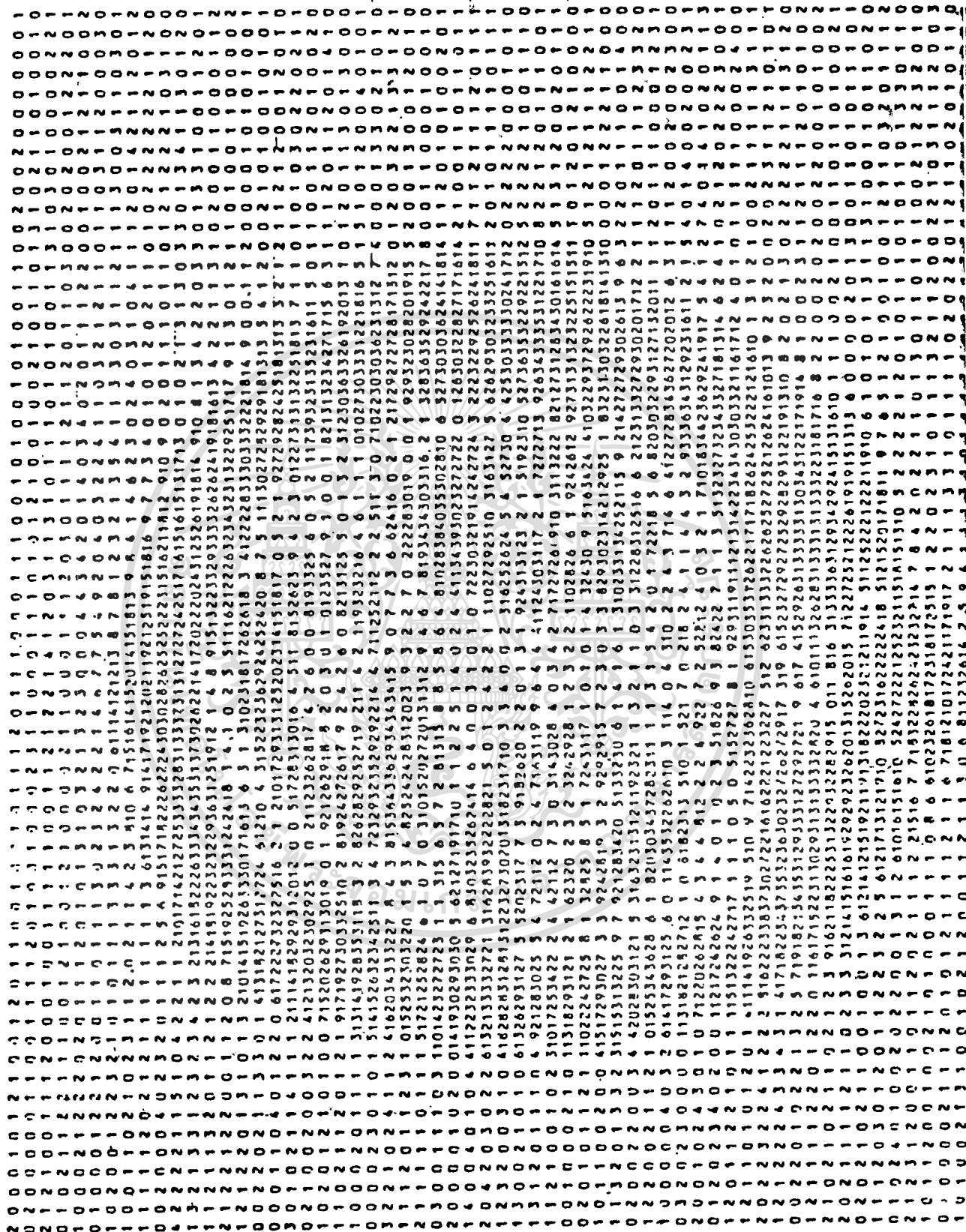


รูปที่ 5.3 (บ) ภาพดัดขวางร่างกายแสดงด้วย line printer

(ก่อน Reconstruction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 (c) ภาพตัดขวางร่างกายแสดงด้วยความเข้ม



รูปที่ 5.3(c)

ภาพตัดขวางร่างกายแสดงด้วยความเข้ม 0-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาคู่ขนาน (Hand Reconstruction) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การจำลองและการสร้างภาพตัดขวางด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

จากข้อเสียที่เกิดขึ้นในการจำลองและสร้างภาพตัดขวางด้วยเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ เราสามารถแก้ปัญหาด้วยการจำลองและสร้างภาพตัดขวางโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เพราะอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณภาพทางอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีราคาถูกกว่ามาก และยังสามารถแสดงการสร้างภาพตัดขวางกลับในจอแสดงภาพได้อีกด้วยจึงให้ความรู้สึกในการมองได้ดีกว่าการแสดงผลทางเครื่องพิมพ์

อย่างไรก็ตาม ข้อเสียสำหรับการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือ มีขนาดหน่วยความจำน้อยและประมวลผลได้ช้ากว่า ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาคือการไป

5.2.1 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลเป็นขนาด 8 บิท ของ CROMEMCO รุ่น System 3 ซึ่งมีคุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ พอกล่าวย่อได้ดังนี้

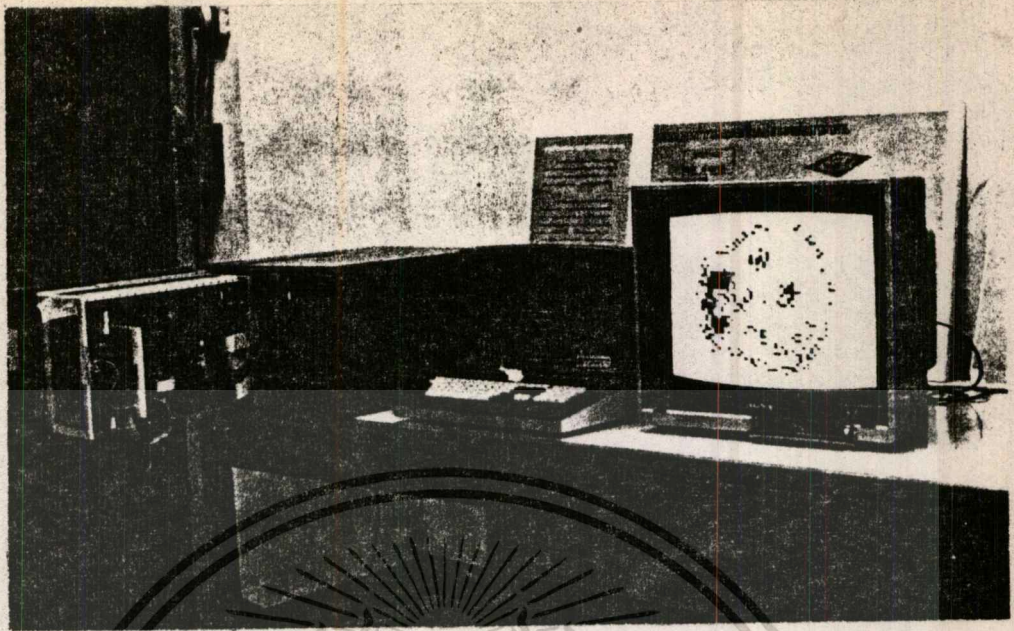
- ประมวลผลด้วย Z-80A ซีพียู ด้วยความถี่คล็อก 4 เมกะเฮิรตซ์
- หน่วยความจำหลักขนาด 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำสำรอง ดิสก์ขนาด 8 นิ้ว 2 หน่วย ละ 241 กิโลไบต์
- เป็นระบบ S-100 Bus มาตรฐาน มีช่อง (slot) สำหรับเสียบบอร์ด 21 ช่อง
- Operating System เป็นของ CDOS (Cromemco Disk Operating System) ซึ่งมีคุณสมบัติและความสามารถคล้าย CP/M 2.2 มาก
- มี FORTRAN Compiler ซึ่งสามารถ Link กับภาษาแอสเซมบลี (Assembly) ได้

อุปกรณ์ระบบภาพที่ใช้กับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย

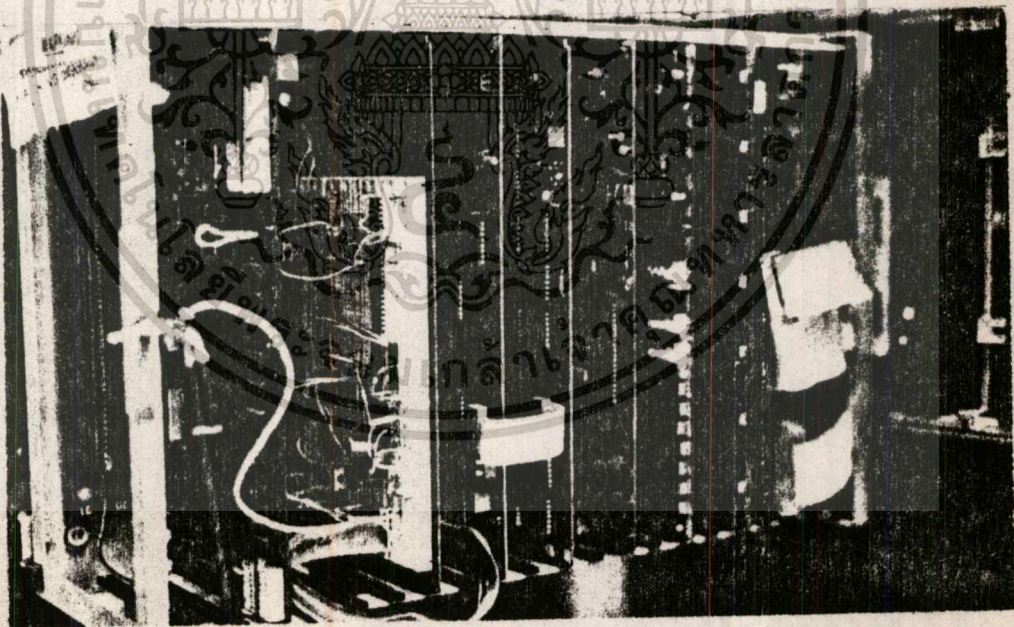
- กล้องถ่ายภาพวิดีโอ
- บอร์ด A/D ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณวิดีโอเป็นสัญญาณดิจิทัลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ
- บอร์ด D/A ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลจากหน่วยความจำเป็นสัญญาณวิดีโอ
- บอร์ด DMA (Direct Memory Access) ทำหน้าที่สแกนข้อมูลภาพจากหน่วยความจำไปยังบอร์ด D/A

ในรูปที่ 5.4 และ 5.5 แสดงระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพ

ตัดขวาง



รูปที่ 5.4 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองและสร้างภาพตัดขวาง



รูปที่ 5.5 อุปกรณ์ระบบภาพที่ใช้กับระบบไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การเก็บข้อมูลภาพในอุปกรณ์ระบบภาพ

ข้อมูลภาพที่ไต่จากบอร์ค A/D จะเป็นข้อมูลของระดับเทา 16 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 0 จนถึง ระดับ 15 โดยจะเก็บอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต ดังนั้นหน่วยความจำ 1 ไบท์จึงสามารถเก็บภาพได้ 2 พิกเซล โดยพิกเซลที่อยู่ติดกัน จะpack เข้ามารวมกันเป็น 1 ไบท์ ตัวอย่างเช่น ภาพขนาด 4×4 พิกเซล ที่ แสดงระดับเทาตั้งแต่ 0 จนถึง 15 ในรูปที่ 5.6. สามารถเก็บลงในหน่วยความจำ ตั้งแต่ 0000 ถึง 0007 ในเลขฐาน 16 ดังแสดงในรูป 5.6 ข.

0	1	2	3	0000	01
				0001	23
4	5	6	7	0002	45
				0003	67
8	9	10	11	0004	89
				0005	AB
12	13	14	15	0006	CD
				0007	EF

(ก) ข้อมูลภาพขนาด

4×4 พิกเซล

รูปที่ 5.6 การเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ

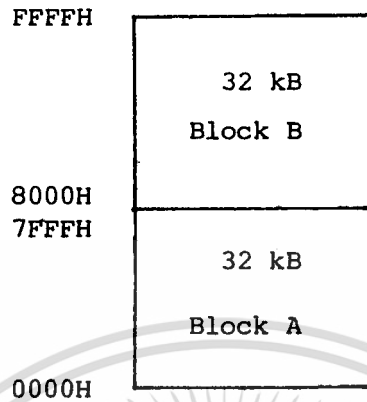
(ข) ข้อมูลในหน่วยความจำ
ที่ใช้เก็บภาพ

5.2.3 ลักษณะการจัดหน่วยความจำหลักในระบบไมโครคอมพิวเตอร์

ปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ประมวลผลในการจำลอง และการสร้างภาพตัดขวางคือ ปัญหาทางด้านหน่วยความจำหลัก (RAM) ไม่เพียงพอ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะการจัดแรม ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นและวิธีแก้ปัญหา

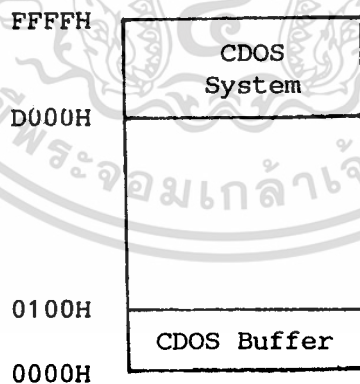
ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 8 บิตโดยทั่วไปจะ ใช้ข้อมูลขนาด 16 บิตในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำ ดังนั้นจึงสามารถอ้างหน่วย ความจำได้สูงสุด $2^{16} = 65536$ ไบท์ = 64 กิโลไบท์ ตั้งแต่ตำแหน่ง 0000H จนถึง FFFFH โดยจะแบ่งออกเป็น 2 Block ดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 Memory Diagram

หน่วยความจำทั้ง 64 กิโลไบต์ จะเสียเนื้อที่ไปส่วนหนึ่งสำหรับเก็บ Operating System (CDOS) โดย CDOS จะถูกโหลดมาจากดิสก์เข้ามาในส่วนของหน่วยความจำตั้งแต่ FFFFH จนถึงประมาณ D000H นอกจากนี้ CDOS ยังใช้หน่วยความจำตั้งแต่ 0000 จนถึง 0100 สำหรับเป็น Memory Buffer ของระบบ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ตำแหน่ง CDOS ในหน่วยความจำระบบ

ดังนั้นผู้ใช้สามารถใช้เนื้อที่หน่วยความจำหลักจริง ๆ ตั้งแต่ตำแหน่ง 0101H จนถึงประมาณ CFFFH คือประมาณ 50 กิโลไบต์ ซึ่งเนื้อที่ของหน่วยความจำนี้จะต้องรวมทั้งตัวโปรแกรมและข้อมูลด้วย

สมมติว่าต้องการจำลองและสร้างภาพตัดขวาง ขนาด 128×128 พิกเซล ตัวโปรแกรมสำหรับการจำลองและสร้างภาพตัดขวางกลับ ซึ่งเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน เมื่อคอมไพล์เป็นภาษาเครื่องแล้ว จะใช้เนื้อที่ประมาณ 20 กิโลไบต์ จึงเหลือเนื้อที่อีกประมาณ 30 กิโลไบต์เพื่อเก็บข้อมูลในการประมวลผล ข้อมูลสำหรับโปรแกรมนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น

-ข้อมูลภาพ (packed data) จากบอร์ด A/D

จำนวนหน่วยความจำที่ใช้ = $(128 \times 128)/2 = 8192 = 8$ กิโลไบต์

-ข้อมูลภาพ (unpacked data) เป็นเลขจำนวนเต็มของระดับเทาใช้สำหรับคำนวณ ซึ่งสามารถเก็บลงในตัวแปรชนิด INTEGER*1

จำนวนหน่วยความจำที่ใช้ = $128 \times 128 = 16384 = 16$ กิโลไบต์

-ข้อมูลโปรแกรมเก็บลงในตัวแปรชนิด REAL

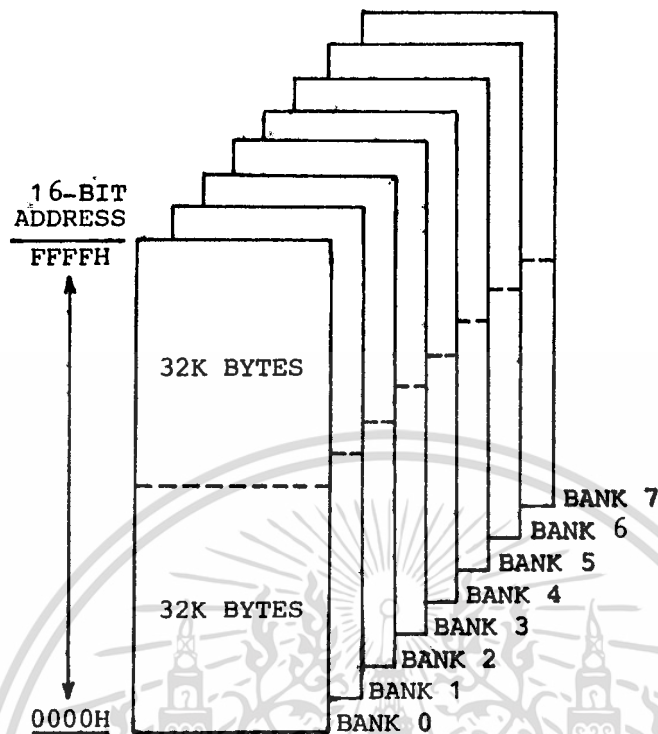
จำนวนหน่วยความจำที่ใช้ = $128 \times 180 \times 4 = 92160 = 90$ กิโลไบต์

จะเห็นว่าหน่วยความจำหลักสำหรับเก็บข้อมูลต้องใช้อย่างน้อยถึง 114 กิโลไบต์ สำหรับประมวลผลข้อมูลขนาด 128×128 พิกเซล ซึ่งในระบบมีหน่วยความจำไม่พอเพียง

การแก้ปัญหาทางด้านหน่วยความจำหลักไม่เพียงพอ สามารถกระทำด้วยวิธีดังนี้

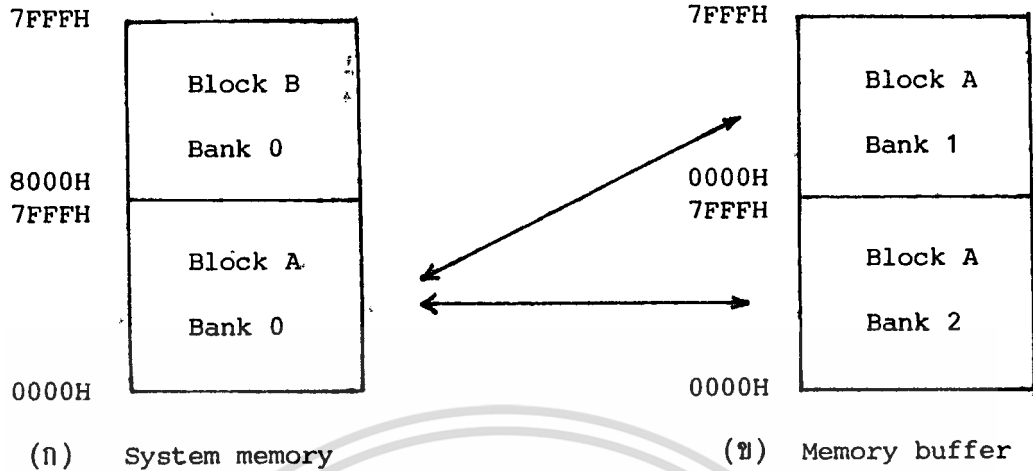
1. ขยายหน่วยความจำหลัก

อย่างที่กล่าวมาแล้ว ขณะใดขณะหนึ่งซึ่งผู้ใช้สามารถอ้างถึงหน่วยความจำได้เพียง 64 กิโลไบต์ แต่ในระบบของ CROMEMCO ที่ผู้ใช้สามารถขยายหน่วยความจำได้อีกโดยใช้เทคนิคการ Paging โดยที่ระบบหน่วยความจำสามารถแบ่งเป็น Bank ได้ 8 Bank แต่ละ Bank จะประกอบด้วย Block A และ B Block ละ 32 กิโลไบต์ ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การขยายหน่วยความจำโดยแบ่งออกเป็นแบงก์ ทั้งสิ้น 8 แบงก์

แบงก์ 0 จะเป็นหน่วยความจำหลักของระบบซึ่งมี OS. อยู่ ส่วนแบงก์ 1-7 สามารถใช้เป็น Memory Buffer แทน ข้อมูลจากแบงก์ 0 สามารถถ่ายไปเก็บไว้ในแบงก์อื่นชั่วคราวด้วยการสวิตช์แบงก์โดยคำสั่งจากภาษาเครื่อง (Machine Language) ในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลเพิ่ม Memory Buffer เข้าไปอีก 64 กิโลไบต์ โดยจัดหน่วยความจำดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 การเพิ่ม Memory buffer ในระบบหน่วยความจำ

ซึ่งผู้ สามารถอ้างถึงหน่วยความจำได้ดังต่อไปนี้

- Bank 0 Block A, Bank 0 Block B ใช้เป็นหน่วยความจำระบบ
- Bank 1 Block A, Bank 0 Block B ใช้เป็น Memory Buffer
- Bank 2 Block A, Bank 0 Block B ใช้เป็น Memory Buffer

ตลอดเวลาที่ทำการประมวลผลด้วยภาษาฟอร์แทรน หน่วยความจำหลักต้อง

เป็นหน่วยความจำของระบบเท่านั้น คือ Bank 0 Block A และ Bank 0 Block B

ดังนั้นจึงต้องแยกส่วนของโปรแกรมที่ถูกคอมไพล์แล้วไว้ใน Bank 0 Block B และส่วน

ของข้อมูลทั้งหมดไว้ใน Bank 0 Block A เพื่อสามารถย้ายข้อมูลในภาษาฟอร์แทรนลงใน

Memory Buffer ได้ด้วยการใช้ภาษาแอสเซมบลีซึ่งอยู่ท้ายภาษาฟอร์แทรนในหน่วยความจำ

โดยในขณะที่คอมพิวเตอร์กำลังกระทำโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี เราสามารถเขียนคำสั่ง

ให้เปลี่ยนเพจไปมาระหว่าง Bank 0 Block A กับ Memory Buffer (Bank 1 Block A

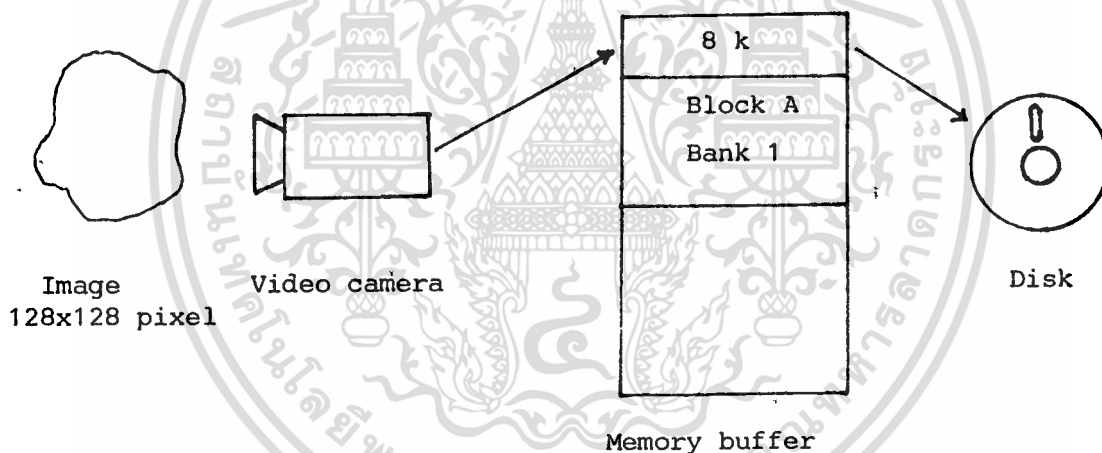
หรือ Bank 2 Block A)

2. แบ่งโปรแกรมหลักออกเป็นโปรแกรมย่อย

เนื่องจากหน่วยความจำหลักของระบบมีจำนวนจำกัดถึงแม้จะเพิ่มหน่วยความจำสำรองเป็น Memory buffer จึงจำเป็นต้องแบ่งโปรแกรมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพออกเป็นโปรแกรมย่อย ๆ ซึ่งผลลัพธ์ของโปรแกรมย่อยนี้จะถูกเก็บไว้ใน Secondary storage ซึ่งก็คือดิสก์ โปรแกรมหลักถูกแบ่งออกเป็นโปรแกรมย่อย 3 โปรแกรมดังนี้

ก. โปรแกรมสำหรับการจำลองภาพ

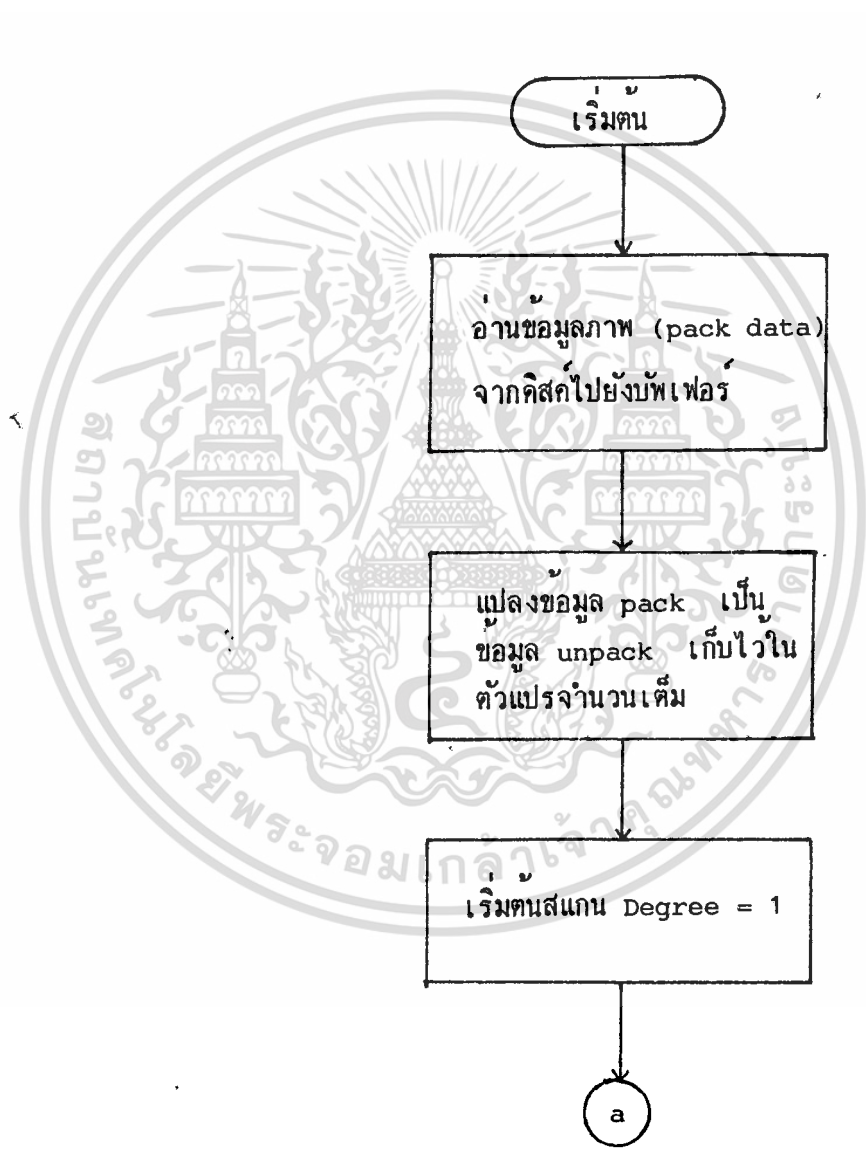
โปรแกรมนี้เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี ทำหน้าที่จำลองภาพตัดขวางโดยการถ่ายภาพจากกล้องวิดีโอ เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยบอร์ด A/D เข้ามาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ และถ่ายข้อมูลจากบัฟเฟอร์ลงมาเก็บไว้ในดิสก์ ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ไคอะแกรมของโปรแกรมสำหรับการจำลองภาพ

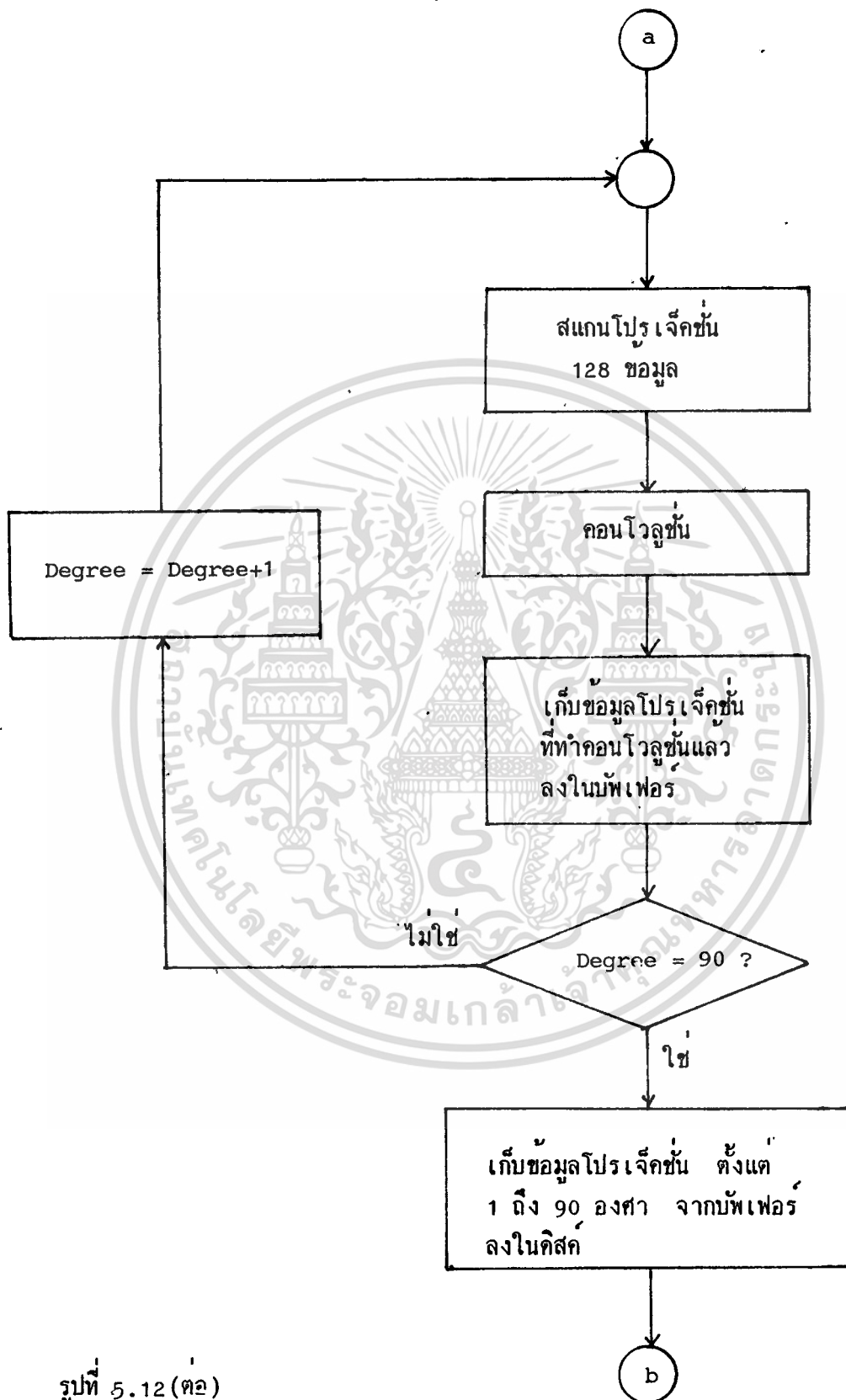
ข. โปรแกรมสำหรับการจำลองโปรเจ็คชั่น

โปรแกรมนี้เป็นส่วนของการจำลองโปรเจ็คชั่นทั้ง 180 ระนาบรอบรูป โดยอินพุตจะเป็นข้อมูลภาพซึ่งจำลองขึ้นจากโปรแกรมจำลองภาพ ส่วนเอาต์พุตเป็นข้อมูลโปรเจ็คชั่นทั้ง 180 ระนาบซึ่งจะถูกเก็บไว้ในดิสก์ ผลงานของโปรแกรมนี้อยู่ในรูปที่ 5.12



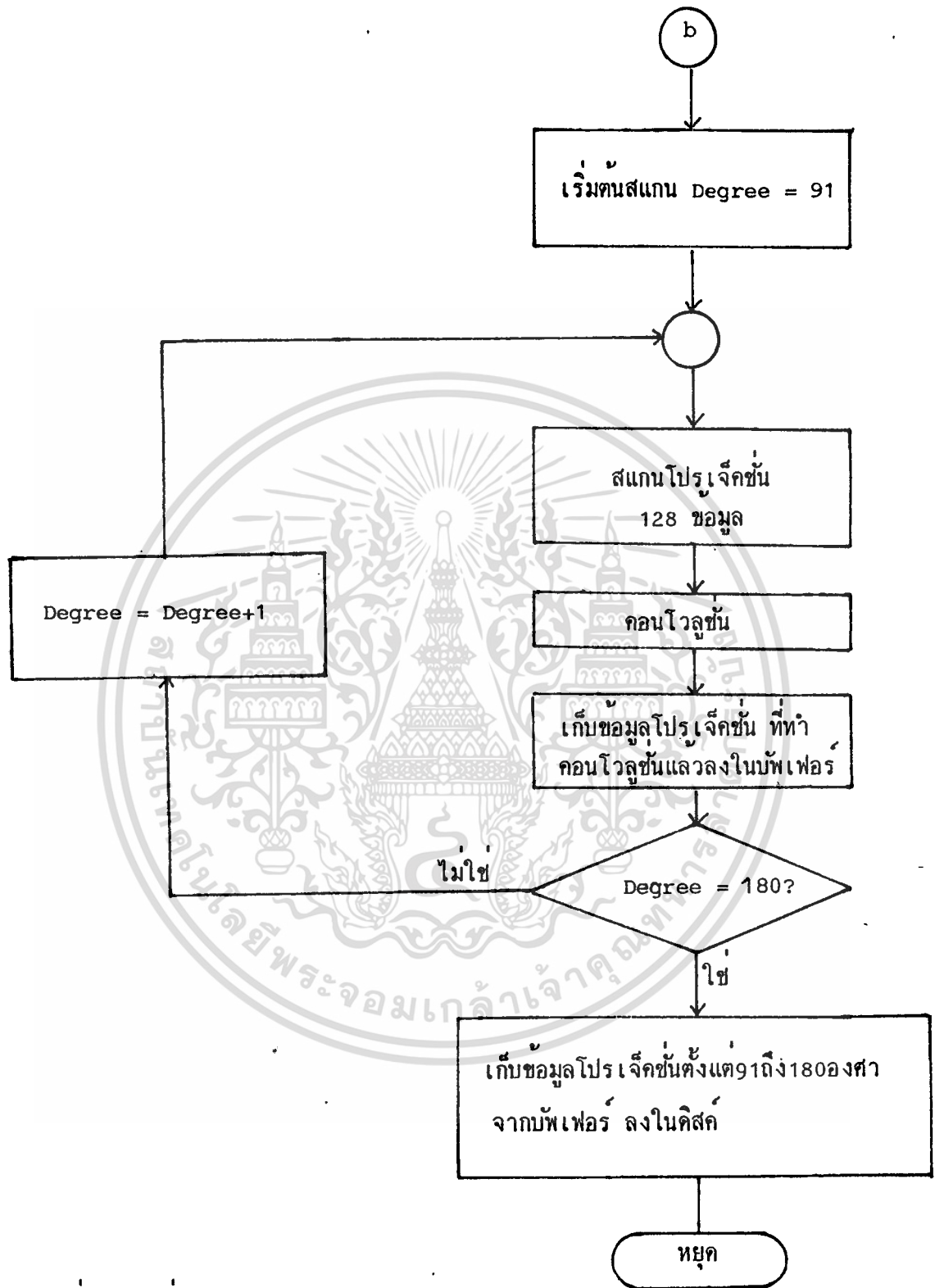
รูปที่ 5.12 ผลงานของโปรแกรมสำหรับจำลองโปรเจ็คชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 (ต๑)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

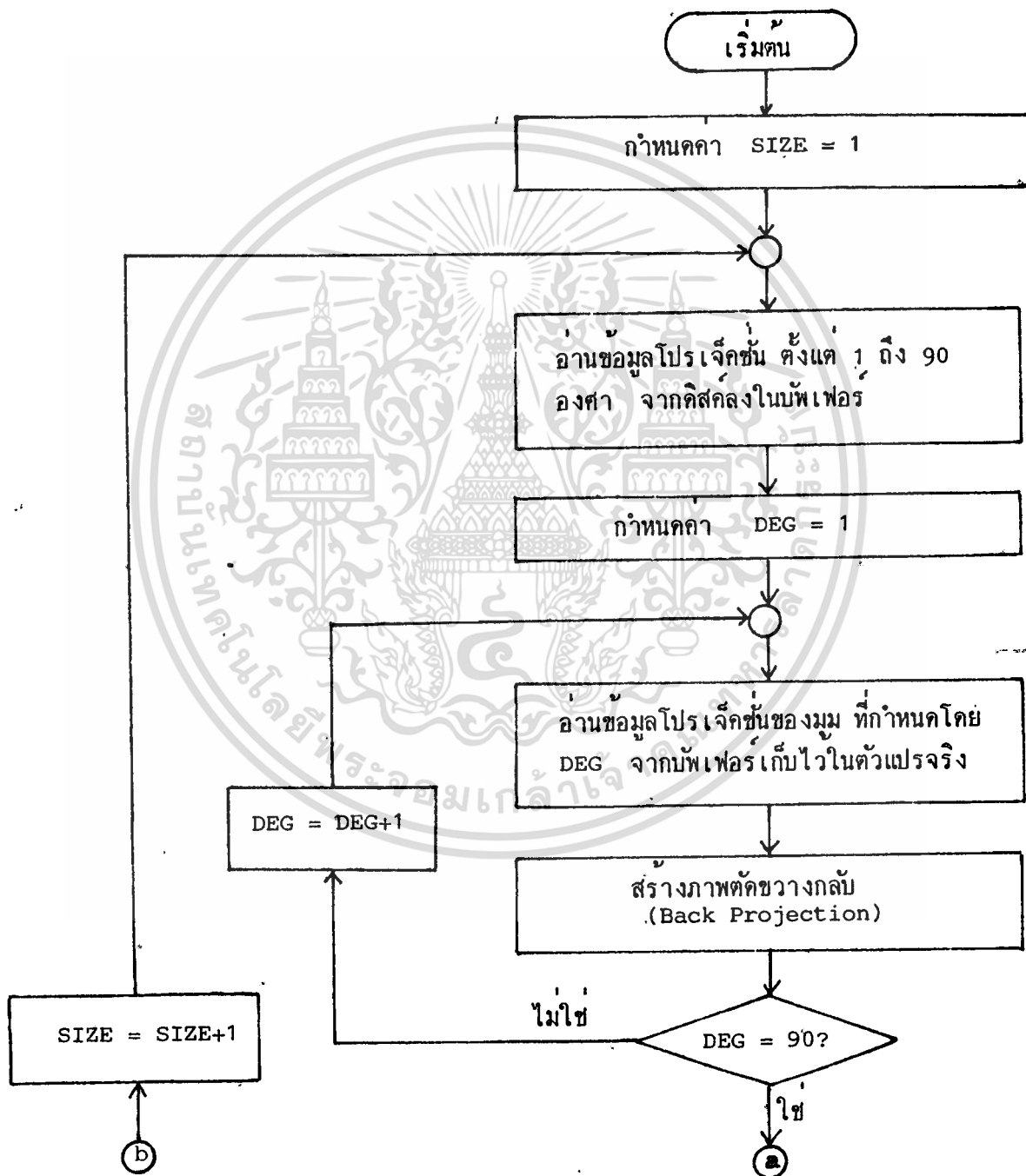


รูปที่ 5.12 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

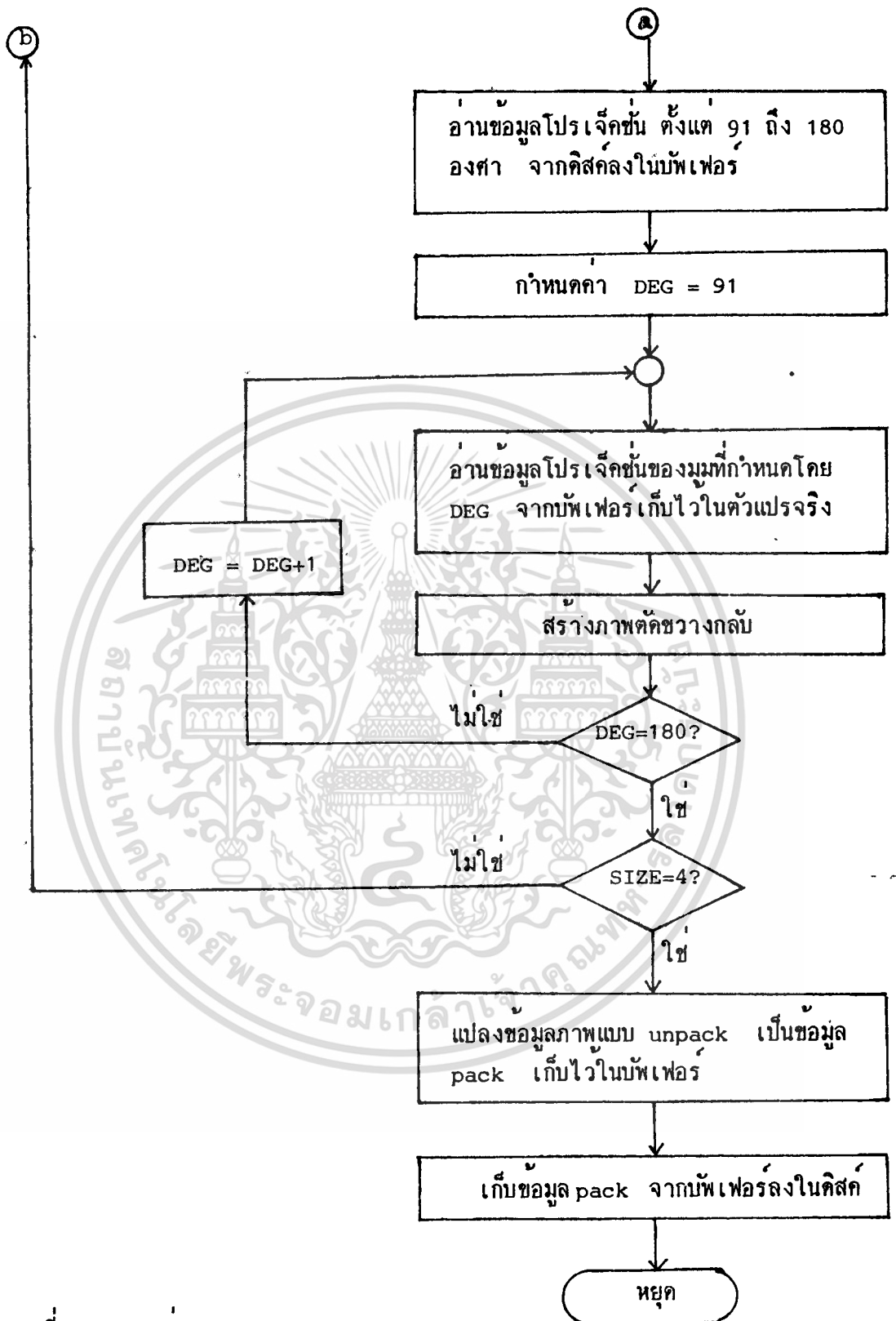
ค. โปรแกรมสำหรับการสร้างภาพตัดขวางกลับ

โปรแกรมนี้อาศัยข้อมูลโปรเจกชันจากโปรแกรมการจำลองโปรเจกชันนำมาสร้างภาพตัดขวางกลับ โดยจะประมวลผลทีละ 1 ใน 4 ของภาพ จนครบทั้งภาพ ผลของการสร้างภาพตัดขวางกลับจะถูกเก็บไว้ในดิสก์ ผลงานของโปรแกรมนี้อยู่ในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ผลงานของโปรแกรมสำหรับการสร้างภาพตัดขวางกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ดังที่กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์คือ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะช้ากว่าเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ พิจารณาโปรแกรมสำหรับการจำลองและการสร้างภาพตัดขวาง เวลาในการประมวลผลส่วนใหญ่คือ เวลาที่ใช้ในการจำลองโปรเจกชัน, การทำคอนโวลูชัน และการสร้างภาพตัดขวางกลับจากโปรเจกชัน เมื่อคำนึงถึงการกระทำทางคณิตศาสตร์ของขบวนการดังกล่าว ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของภาพ

ให้ เป็นจำนวนพิกเซลที่ใช้ในการจำลองและการสร้างภาพตัดขวาง

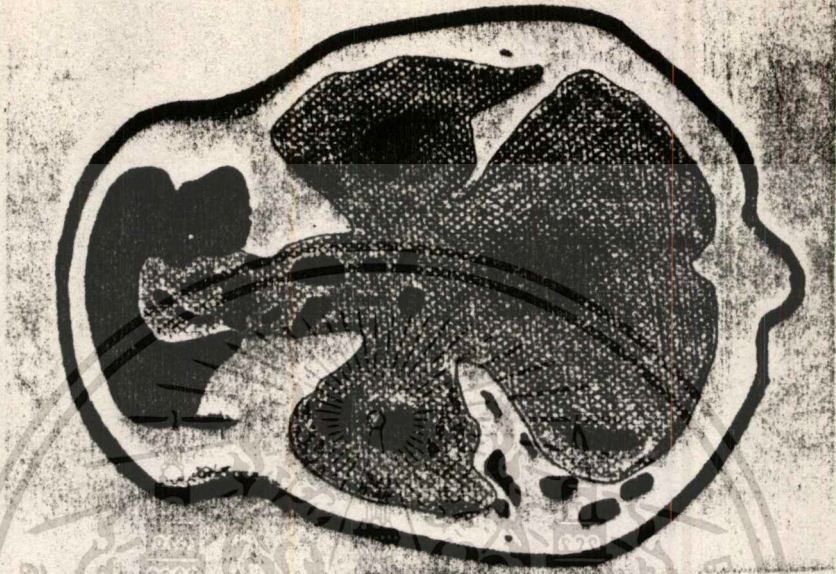
-การจำลองโปรเจกชัน	ใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์	$36 \times 180 \times N \times N$	คำสั่ง
-การทำคอนโวลูชัน	ใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์	$10 \times 180 \times N \times N$	คำสั่ง
-การสร้างภาพตัดขวางกลับ	ใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์	$36 \times 180 \times N \times N$	คำสั่ง

เวลาเฉลี่ยของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล ในการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ 1 คำสั่งใช้เวลา 7.5×10^{-4} วินาที ดังนั้นจึงสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการประมวลผล เมื่อขนาดของภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังตารางที่ 1

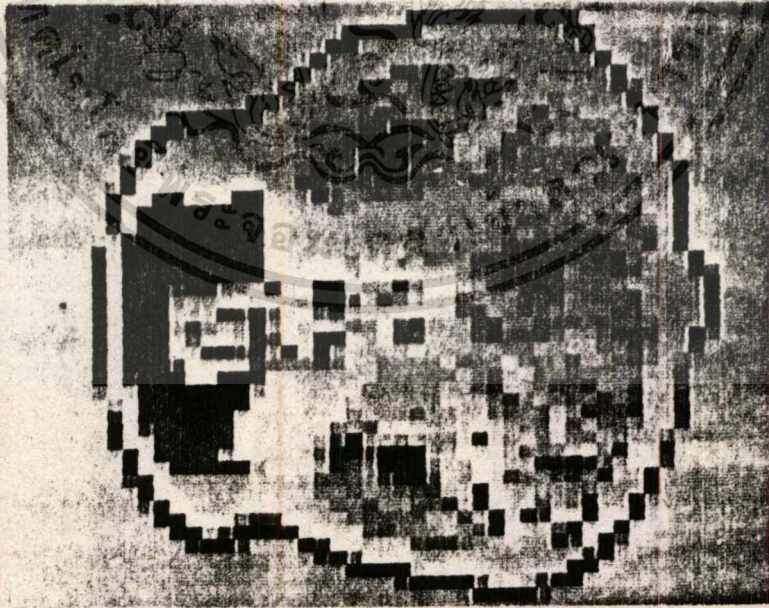
ภาพขนาด	การจำลอง (นาท)	คอนโวลูชัน (นาท)	สร้างภาพตัดขวาง (นาท)	รวม (นาท)
16×16	20.74	5.76	20.74	47.24
32×32	82.94	23.04	82.94	188.92
64×64	331.78	92.12	331.78	755.72
128×128	1327.36	368.64	1327.36	3023.36
512×512	5309.44	1474.56	5309.44	12093.44

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการจำลองและการสร้างภาพ เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพ

จากตารางที่ 1 เมื่อใช้ภาพขนาด 64×64 พิกเซล จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ย 12.6 ชม. ในรูปที่ 14 เป็นภาพที่จำลองขึ้น และในรูปที่ 5.15 เป็นภาพที่ได้จากขบวนการสร้างภาพตัดขวางโดยมีขนาด 64×64 พิกเซล



รูปที่ 5.14 ภาพจำลองแสดงส่วนตัดขวางของศีรษะ



รูปที่ 5.15 ภาพที่ได้จากขบวนการสร้างภาพตัดขวาง
ขนาด 64×64 พิกเซล

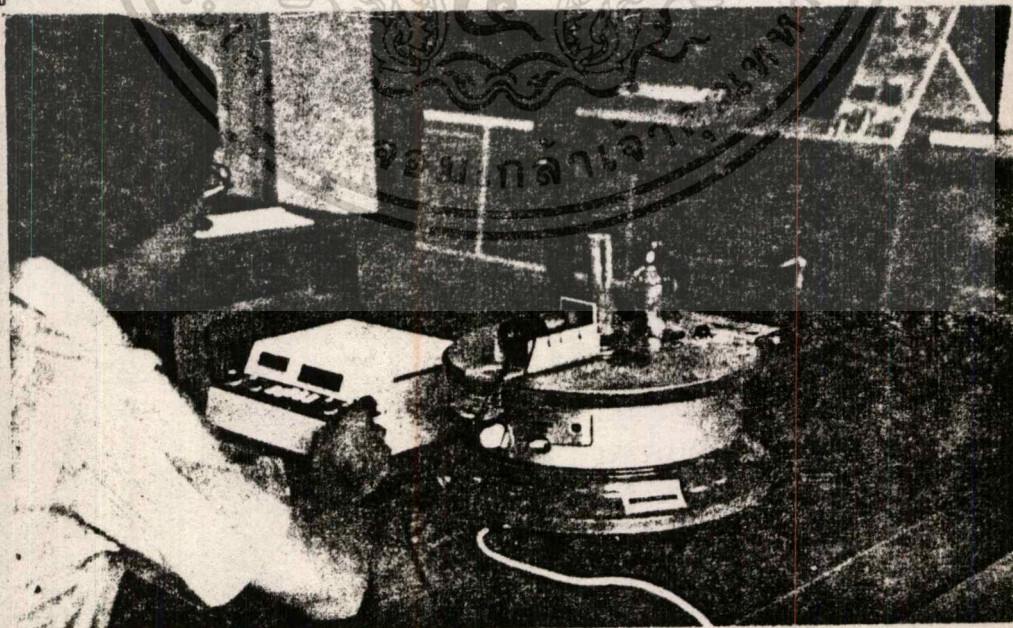
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การสร้างภาพตัดขวางจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังต่ำ

หลังจากที่ใช้เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ และ ไมโครคอมพิวเตอร์จำลองและสร้างตัดขวางดังที่กล่าวมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปในการทดลองคือการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้ข้อมูลของโปรเจกชันจากรังสีเอกซ์จริง เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยพัฒนาสร้างเครื่องตัดขวางร่างกายขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ

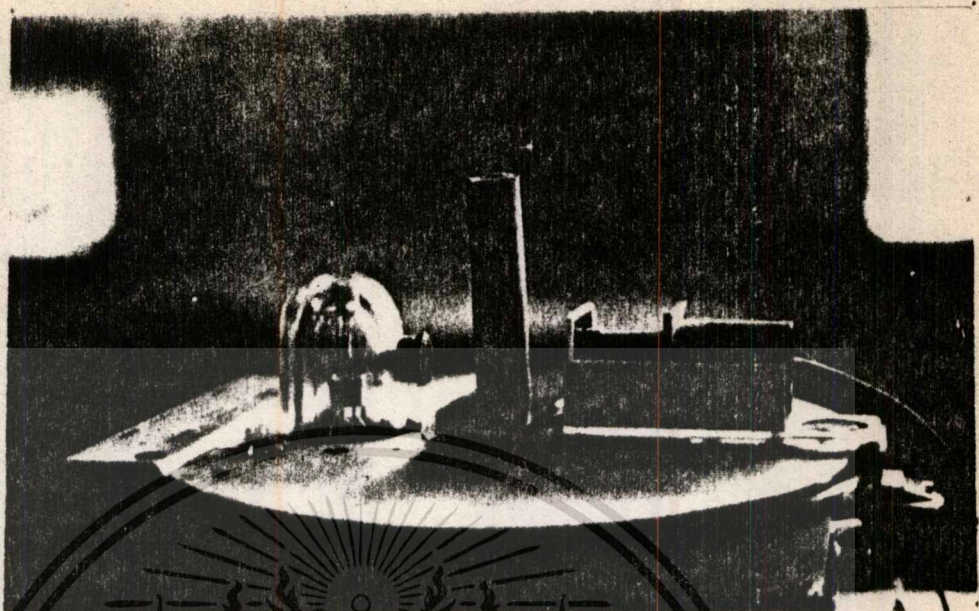
5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดรังสีที่มีกำลังต่ำโดยสามารถปรับความต่างศักย์ที่ขั้วแอโนด (Anode) ได้ 2 ระดับคือ 20 kv และ 30 kv หลอดรังสีเอกซ์มีส่วนกำบัง (window) เพื่อให้ได้ลำรังสีขนาดกว้าง 1 มม. ส่วนของตัวตรวจวัดปริมาณรังสี (detector) สามารถปรับให้ห่างจากจุดกำเนิดรังสีได้ตั้งแต่ 7 ซม. ถึง 13 ซม. ส่วนหน้าของตัวตรวจวัดสามารถใส่ที่กำบังรังสีที่มีขนาดกว้าง 1 มม. เพื่อที่จะได้ลำรังสีขนานเข้าสู่ตัวตรวจวัด ตัวตรวจวัดถูกต่อเข้ากับหน่วยตั้งเวลา (Elapse time unit) เพื่อที่จะเลือกช่วงเวลาปริมาณรังสีส่งไปยังหน่วยนับ (Counter) ช่วงเวลาสามารถเลือกได้ดังนี้คือ 10 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 5 นาที และ 10 นาที หน่วยนับจะนับปริมาณรังสีเป็นจำนวนโฟตรอนสัมพันธ์ (Relative Photon) อุปกรณ์ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 5.16, 5.17



รูปที่ 5.16 อุปกรณ์เอกซ์เรย์, หน่วยตั้งเวลา และหน่วยนับปริมาณรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 อุปกรณ์เอ็กซ์เรย์พร้อมวัตถุที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง จากทฤษฎีในหัวข้อ 3.2 บทที่ 3 ทำให้สามารถหาค่าของโปรเจกชัน $P_{\theta}(kV)$ โดยการวัดค่าของจำนวนโฟตอนที่ผ่านวัตถุ เปรียบเทียบกับจำนวนโฟตอนที่ผ่านอากาศในช่วงเวลาเดียวกัน วัตถุที่ใช้ในการทดลองใช้วัตถุทรงกลมมาตรฐาน คือ แท่งไมทรงกระบอกตันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 ซม. การที่ใช้วัตถุทรงกลมมาตรฐานเพราะโปรเจกชันที่ได้จากวัตถุทรงกลมมาตรฐานทุก ๆ ระนาบของการฉายรังสีจะเท่ากันหมด

5.3.2 การทดลอง

วัตถุถูกติดตั้งบนไม้บรรทัดซึ่งสามารถเลื่อนไปตามแนวระนาบได้สะดวก ขั้นตอนในการทดลองกระทำดังนี้คือ

ทำการเปิดเครื่องเอ็กซ์เรย์ให้อยู่ในสภาพพร้อม (Stand-by) เป็นเวลา 5 นาที จัดตั้งวัตถุให้อยู่ในตำแหน่งตามต้องการ ตั้งหน่วยตั้งเวลาไว้ที่ 10 วินาที หลังจากอุ่นเครื่อง 5 นาทีจึงทำการฉายรังสีเอ็กซ์พร้อมจับเวลา เมื่อหมดช่วงเวลา 10 วินาที จะทำการรีเซ็ตหน่วยนับพร้อมจดค่าโปรเจกชันที่ได้ ทั้งช่วง 20 วินาทีจึงเริ่มทำการทดลองใหม่ ทำการทดลองในแต่ละตำแหน่งเป็นจำนวน 30 ครั้ง จากนั้นจึงเลื่อนวัตถุไปอีก 1 มม. และเริ่มทำการทดลองใหม่ ครั้งแรกของการทดลองจะไม่มีวัตถุขวางลำรังสีเลย นั่นก็คือ

ค่าที่ได้จากหน่วยวัดจะเป็นค่าของ N_{in} ดังนั้นโปรเจกชันในแต่ละตำแหน่งก็สามารถหาได้โดยการเฉลี่ยค่าของโปรเจกชันทั้ง 30 ค่าที่ทดลอง ค่าโปรเจกชันได้มาจากสมการ (3.4) ดังนี้

$$P_{\theta}(k\%) = \ln\left(\frac{N_{in}}{Nd}\right)$$

5.3.3 ผลการทดลอง

ในตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของโปรเจกชันจากการทดลองทั้ง 30 ครั้ง ในแต่ละตำแหน่ง นำค่าโปรเจกชันเฉลี่ยที่ได้เป็นค่าข้อมูลเข้าของโปรแกรมสร้างภาพตัดขวางซึ่งมีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ภาพที่สร้างขึ้นแสดงอยู่ในรูปที่ 5.18 และ 5.19 โดยใช้จำนวนจุด 21×21 พิกเซล

A = ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางแท่งไม (มม.)	-9	-8	-7	-6	-5
B = จำนวนโฟตอนสัมพันธ์	19676.07	19280.63	5047.33	3885.6	3055.3

A	-4	-3	-2	-1	0	1	2
B	1945.43	1528.32	1449.5	1398.6	1280.17	1825.33	1968.47

A	3	4	5	6	7	8	9
B	2394.1	2761.17	3197.77	3381.33	4675.87	19335.63	20779.03

ตารางที่ 2 แสดงค่าจำนวนโฟตอนสัมพันธ์เฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 สรุปผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างภาพจากโปรเจกชัน โดยภาพตัดขวางที่ได้ออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริง วัตถุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้วัตถุทรงสมมาตรซึ่งจะให้ค่าโปรเจกชันทุก ๓ ระนาบเท่ากันจึงสามารถทำการทดลองด้วยมือได้ ในกรณีที่วัตถุไม่เป็นทรงสมมาตร เช่นร่างกาย จำเป็นต้องสแกนรังสีทั้ง 180 ระนาบซึ่งเป็นไปได้ที่จะทำด้วยมือ ต้องนำระบบไมโครคอมพิวเตอร์ต่อ เชื่อมกับระบบสแกนเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการสแกน ตลอดจนเก็บข้อมูลและสร้างภาพซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต้องพัฒนาต่อไป



บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้คอมพิวเตอร์ เป็นงานวิจัยที่ต้องใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ของภาพตลอดจนความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์ เนื้อหาสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงคณิตศาสตร์ในการสร้างภาพตัดขวางจากโปรเจกชันโดยเฉพาะวิธีคอนโวลูชันซึ่งกล่าวไว้โดยละเอียดในบทที่ 4 เพื่อความมั่นใจในงานพัฒนาการสร้างเครื่องถ่ายภาพตัดขวางร่างกายจึงได้ทดสอบคณิตศาสตร์ที่ได้ศึกษาโดยการจำลองภาพตัดขวางขึ้น และสร้างภาพตัดขวางกลับจากภาพที่จำลองขึ้นโดยทำทั้งในเมนเฟรมคอมพิวเตอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังทำการทดลองสร้างภาพตัดขวางจากวัตถุจริงโดยการฉายรังสีเอ็กซ์ที่มีกำลังต่ำผ่านวัตถุซึ่งรายละเอียดของการทดลองได้แสดงไว้ในบทที่ 5

ในปัจจุบัน เครื่องถ่ายภาพตัดขวางร่างกายทั้งหมดที่มีใช้ในโรงพยาบาลใหญ่ ๆ ต้องสั่งมาจากต่างประเทศ ซึ่งเกิดปัญหาที่สำคัญสองประการกล่าวคือ ราคาของเครื่องที่สูงมากและความยากลำบากในการบำรุงรักษา งานพัฒนาการสร้างเครื่องดังกล่าวขึ้นมาใช้เองภายในประเทศจึงมีประโยชน์อย่างสูงต่อวงการแพทย์โดยจะช่วยลดเงินทุนในการสั่งซื้อ และจะไม่เกิดปัญหาในการบำรุงรักษาเครื่อง

โครงการนี้จะสำเร็จลงได้จำเป็นต้องประกอบด้วยคณะวิจัยที่มีผู้เชี่ยวชาญหลายฝ่ายกล่าวคือ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านรังสี ตลอดจนรังสีแพทย์ผู้เกี่ยวข้องกับภาพตัดขวางร่างกาย และจำเป็นต้องมีหน่วยงานของรัฐบาลหรือเอกชนที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย หวังอย่างยิ่งว่าในอนาคตอันใกล้นี้ โครงการดังกล่าวจะสำเร็จผลเพื่อเป็นประโยชน์แก่ประชาชนและประเทศชาติ

หนังสืออ้างอิง

- [1] David M. Panton, "Mathematical Reconstruction Techniques in Computer Axial Tomography," Math. Sci., vol. , pp.87-101, 1981.
- [2] C.R. Crawford and A.C. Kak, "Aliasing artefacts in computerized tomography," Appl. Opt., vol.18, pp.3704-3711, Nov., 1978.
- [3] Avinash C. Kak, "Computerized Tomography with X-Ray, Emission, and Ultrasound Sources," Proc. IEEE, vol.69, No.9, pp.1245-1272, Sep., 1979.
- [4] Ernest L. Hall, "Computer Image Processing and Recognition," Academic Press, New York, 1979.
- [5] Tao Chang and Gabor T. Herman, "A scientific study of filter selection for a fan-beam convolution reconstruction algorithm," SIAM J. Appl. Math., vol.39, No.1, pp.83-105, Aug., 1980.
- [6] John w. Strohbehn, Carter H. Yates, Bruce H. Curran and Edward s. Sternick, "Image Enhancement of Conventional Transverse-Axial Tomograms," IEEE Trans. Biomed., vol. BME-26, No.5, pp. 253-262, May, 1979.
- [7] I.S. Reed, T.K. Truong, C.M. Chang, Y.S. Kwoh, "3-D Reconstruction for Diverging X-Ray Beams," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.NS-25, No.3, pp.1007-1011, June, 1978.
- [8] Stephen M. Pizer, John B. Zimmerman, R. Eugene Johnston, "Concepts of the display of medical Images," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.NS-29, No.4, pp.1322-1330, Aug., 1982.
- [9] Ramachandran, G.N., and Lakshminarayanan, A.V. (1971), "Three-Dimensional Reconstruction from Radiographs and Electron Micrographs: Application of Convolution instead of Fourier Transform," Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 8, 1236-2240.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Sally L. Wood and Martin Morf, "A Fast Implementation of a Minimum Variance Estimator for Computerized Tomography Image Reconstruction," IEEE Trans. Biomed., vol. BME-28, No. 2, Feb., 1981.
- [11] James W. Cooley and John W. Tukey, "An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series," Math. Comp., 19, pp. 297-301 (1965)
- [12] P. Collard and D. Plummer, "Operating System Requirements and User Interfaces," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-29, No. 4, pp. 1291-1298, Aug., 1982.
- [13] Andrew Todd-Porkropek and Robert Di Paola, "The use of the computers for Image processing in nuclear medicine," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-29, No. 4, pp. 1299-1309, Aug., 1982.
- [14] G. Kowalski, "Suppression of Ring Artefacts in CT Fan-beam Scanners," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-25, No. 5, Oct., 1978.
- [15] Shepp, L.A., and Logan, B.F. (1974), "The Fourier Reconstruction of Head Section," IEEE Trans., 21, 21-43.
- [16] Henry Stark, John W. Woods, Indraneel Paul and Rajesh Hingarani, "Direct Fourier Reconstruction in Computer Tomography," IEEE Trans. Acou., vol. ASSP-29, No. 2, pp. 237-244, April., 1981.
- [17] Norman A. Baily, "The Fluoroscopies Image as Input Data for Computed Tomography," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-2, No. 2, pp. 2707-2709, April., 1979.
- [18] Myron Bernard Katz, "Rigorous Error Bounds in Computerized Tomography," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-2, No. 2, pp. 2691-2692, April., 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

IMAGE DISPLAY SUBROUTINE

The following FORTRAN subroutine outputs to a line printer a 32-level image. The maximum array size is a 64 x 64, which produces a full standard computer output sheet.

Usage:

IA - A 64 x 64 image. This integer is formed in the calling program where it is set up as follow:

```
COMMON IA(64,64)
```

```
INTEGER*2 IA
```

The first subscript of IA refer to a row of the image and the second to a column. Care must be taken to keep this convention in mind when building the array.

The following subroutine displays IA on a line printer.

```
CALL DSP(NX,NY,LAW,IL,IH,NEG,LG)
```

The arguments are as the follow:

NX - Number of rows of IA to be printed; maximum NX is 64.

NY - Number of columns of IA to be printed; maximum NY is 64. If NX = NY = 64 a full page is output.

LAW - Gray-level scale translation variable.

LAW = 1: linear scale,

LAW = 2: square-root scale,

LAW = 3: logarithmic scale,

LAW = 4: "absorption" scale,

- IL - minimum gray level in IA, calculated in the calling program.
- IH - maximum gray level in IA, calculated in the calling program.
- NEG - a value equal to 1 gives the normal image; a value equal to 0 gives the negative of the image.
- LG - logical unit number for the line printer.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ข.

ASSEMBLY PROGRAMS:

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07

*** READ ***

```

0001 ;*****
0002 ;      SUBROUTINE TDAT
0003 ;      ENTRY POINT: ADDRESS AHLU
0004 ;*****
0005      NAME      CTASM3
0006      ENTRY      TDAT
0007 bdos      equ      0005h      ;bdos entry point
0008 pstring   equ      9          ;print string until '$'
0009 nbuff     equ      13         ;number of file name descriptio
0010 openf     equ      15         ;file open function
0011 closef    equ      16         ;close function
0012 readseq   equ      20         ;read sequential
0013 fcb       equ      005ch      ;file control block address
0014 tdat:     PUSH     AF
0015           PUSH     BC
0016           PUSH     DE
0017           PUSH     HL
0018           LD      C,(HL)
0019           INC     HL
0020           LD      B,(HL)
0021           LD      (ADDR),BC
0022           LD      DE,FLNAME      ;display console
0023           CALL    PRINT
0024           LD      DE,BOH
0025           LD      A,NBUFF      ;FILE NAME NOT EXCEED 1
0026           LD      (DE),A
0027           LD      C,0AH      ;system call no.0A
0028           CALL    CBDOS
0029           LD      HL,82H      ;buffer addr for read
0030           LD      DE,FCB      ;set FCB from input 1
0031           LD      C,86H
0032           CALL    05H
0033 ;-----
0034 ;      START TO READ FILE, WHICH SPECIFIC NAME
0035 ;-----
0036           LD      C,15      ;call open file
0037           CALL    CBDOS
0038           INC     A          ;if error return code 255
R 0039           JP      nz,ready
0040 ;      not found this file name,so return
0041           LD      DE,NOTFND ;lxi d,notfnd

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0042      CALL    PRINT    ;PRINT AND EXIT PROGRAM
R 0043      JP      EXIT
0044 Ready: ;file is ready for processing
0045 LOOP:  LD      DE,BUFFER
0046      LD      C,8      ;BUFFER 1K BYTES = 8 RECORD
0047 READ:  LD      (REC),BC    ;REC = remain record in
0048      LD      C,01AH   ;SET DMA ADDRESS AT BUFFER
0049      CALL    CBDDS
0050      EX      DE,HL    ;HL = Buffer Address
0051      LD      C,20     ;read sequence record
0052      CALL    FCBCALL ;DE = FCB address
0053      OR      A
R 0054      JP      NZ,MOVE
0055      LD      BC,128
0056      ADD     HL,BC    ;increment HL,128
0057      EX      DE,HL    ;DE = Buffer Address
0058      LD      BC,(REC)
0059      DEC     C
R 0060      JP      NZ,READ
0061 MOVE:  PUSH    AF
0062      CALL    MOVDAT
0063      POP     AF
0064      OR      A
R 0065      JP      Z,LOOP
0066 EXIT:  POP     HL
0067      POP     DE
0068      POP     BC
0069      POP     AF
0070      RET     ;EXIT SUBROUTINE TO MAIN PROG
0071 MOVDAT: LD     DE,(ADDR)
0072      LD     HL,BUFFER
0073      LD     BC,0240H
0074      OUT    (C),B
0075      LD     A,D
0076      AND   BOH
0077      JR    Z,SAMEBNK
0078      LD     B,04
0079      OUT    (C),B
0080 SAMEBNK LD     BC,1024
0081      PUSH   AF
0082      XOR   D
0083      LD     D,A
0084      LDIR
0085      POP   AF

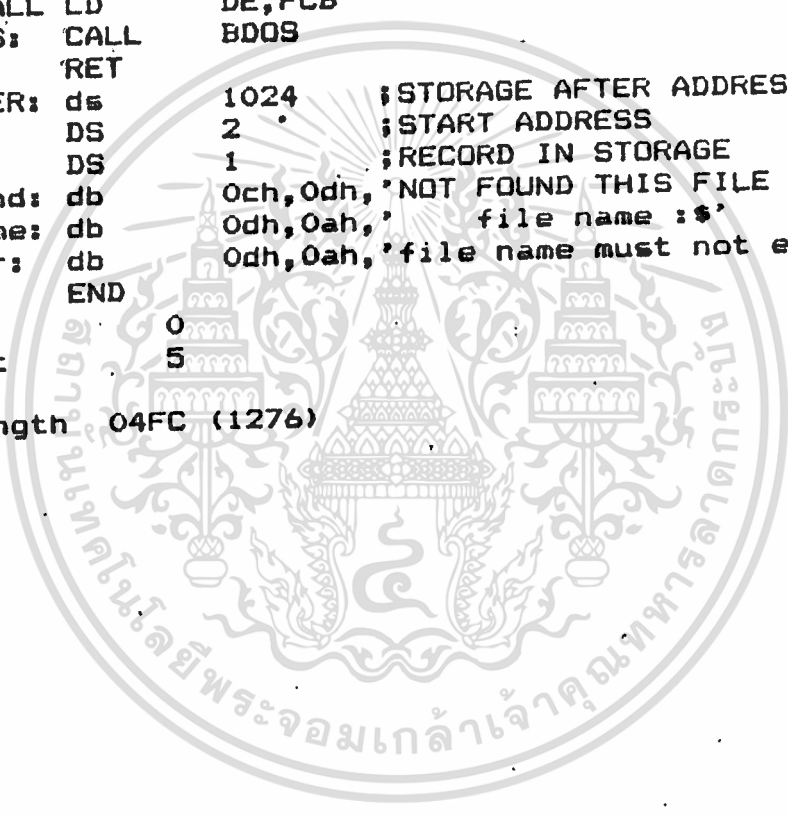
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0086      XOR      D
0087      LD       D,A
0088      LD       A,1
0089      OUT      (40H),A
0090      LD       (ADDR),DE
0091      RET
0092 PRINT: LD      c,09h
0093      JR       CBDOS
0094 FCBCALL LD     DE,FCB
0095 CBDOS: CALL   BDOS
0096      RET
0097 BUFFER: ds    1024 ; STORAGE AFTER ADDRESS 8000H
0098 ADDR:  DS     2 ; START ADDRESS
0099 REC:   DS     1 ; RECORD IN STORAGE
0100 notfnd: db    0ch,0dh, 'NOT FOUND THIS FILE IN SET DRI
0101 fname: db    0dh,0ah, ' file name :$'
0102 flovr: db    0dh,0ah, 'file name must not exceed 8 ch
0103      END
Errors   0
Range Count 5
Program Length 04FC (1276)

```



CROMEMCO Z80 Macro Assembler version, 03.07

*** READ ***

Symbol	Value	Defn	References
ADDR	04A0'	0098	0021 0071 0090
bdos	0005	0007	0095
BUFFER	00A0'	0097	0045 0072
CBDOS	009C'	0095	0028 0037 0049 0093
closef	0010	0011	
EXIT	0067'	0066	0043
fcbl	005C	0013	0030 0094
FCBCALL	0099'	0094	0052
FLNAME	04C6'	0101	0022
flodr	04DB'	0102	
LOOP	0039'	0045	0065
MOVDAT	006C'	0071	0062
MOVE	005E'	0061	0054
nbuf	000D	0009	0025
NOTFND	04A3'	0100	0041
openf	000F	0010	
PRINT	0095'	0092	0023 0042
pstring	0009	0008	
READ	003E'	0047	0060
readseq	0014	0012	
ready	0039'	0044	0039
REC	04A2'	0099	0047 0058
SAMEBNK	0081'	0080	0077
TDAT	E 0000'	0014	0006



*** WRITE ***

```

0001 ;*****
0002 ;   SUBROUTINE FFER
0003 ;   (USE WRITE DATA FROM BUFFER TO DISK FILE
0004 ;   ENTRY POINT: RECORD NO. AHLU
0005 ;   BUFFER ADDRESS ADEU
0006 ;*****
0007     NAME CTASM1
0008     ENTRY FFER
0009     BDOS EQU 0005H ;BDOS ENTRY POINT
0010     PSTRING EQU 9 ;PRINT STRING UNTIL '$'
0011     CLOSEF EQU 16 ;CLOSE FUNCTION
0012     WRITESQ EQU 21 ;WRITE SEQUENTIAL
0013     MAKEFL EQU 22 ;CREATE FILE
0014     IBUFLN EQU 80H
0015     FCB EQU 005CH ;FILE CONTROL BLOCK ADDRESS
0016     RECCONT EQU FCB+15 ;RECORD COUNT IN FCB
0017     FFER:  PUSH HL
0018             PUSH DE
0019             PUSH BC
0020             PUSH AF
0021             CALL ENTRY
0022             LD (RECNUM),BC
0023             EX DE,HL
0024             CALL ENTRY
0025             LD (ADDR),BC
0026             CALL SETFCB
0027             CALL DELETE ;DELETE OLD FILE
0028             CALL CREATE ;IF FILE NOT EXIST,SO CREATE I
0029             CP OFFH ;CHECK ERROR ON CREATE FILE
0030             JP Z,ERROR1 ;IF NO DIRECTORY SPACE, RETURN
0031     MOVE:  CALL MOVDAT
0032             LD DE,BUFF
0033             LD C,B
0034     WRT:   PUSH BC
0035             CALL SETDMA
0036             EX DE,HL ;EXCHANGE DE ---> HL
0037             CALL WRITEF
0038             OR A
R 0039             JP NZ,DSKFUL ;ERROR BECAUSE DISK FULL
0040             LD BC,12B
0041             ADD HL,BC ;SET NEXT DMA ADDRESS

```

```

0042                                     ;ADD 128 BYTE TO HL
0043 LD BC, (RECNUM) ;LOAD RECORD NUMBER
0044 DEC BC ;DECREMENT 1 RECORD
0045 LD A, 0
0046 OR B
R 0047 JP NZ, NEXT ; IF RECORD NUMBER = 0, GOTO EN
0048 OR C
R 0049 JP Z, ENDFLW
0050 NEXT: LD (RECNUM), BC
0051 EX DE, HL ;EXCHANGE HL ----> DE
0052 POP BC
0053 DEC C
0054 JR NZ, WRT
0055 JR MOVE
-----
0056 ;
0057 ; SUBROUTINE
0058 ;
0059 ENTRY: LD C, (HL)
0060 INC HL
0061 LD B, (HL)
0062 RET
0063 MOVDAT: LD HL, (ADDR) ;LOAD START ADDRESS WHICH INDI
0064 LD DE, BUFF
0065 LD BC, 0240H
0066 OUT (C), B
0067 LD A, H
0068 AND 80H
0069 JR Z, SAMEBNK
0070 LD B, 04
0071 OUT (C), B
0072 SAMEBNK LD BC, 1024
0073 PUSH AF
0074 XOR H
0075 LD H, A
0076 LDIR
0077 POP AF
0078 XOR H
0079 LD H, A
0080 LD A, 1
0081 OUT (40H), A
0082 LD (ADDR), HL
0083 RET
0084 SETFCB: LD DE, FLNAME
0085 CALL PRINT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0086      LD      DE,80H      ;SET BUFFER TO BE READ
0087      LD      A,IBUFLN
0088      LD      (DE),A
0089      LD      C,0AH
0090      CALL    05H
0091      LD      HL,82H      ;SET INPUT LINE BUFFER
0092      LD      DE,05CH
0093      LD      C,86H
0094      JR      CBDOS
0095  DELETE: LD      C,13H      ;DELETE FILE
0096      JR      FCBCALL      ;LOAD FCB ADDR TO DE, THEN CALL
0097  CREATE: ;                IF IT IS NEW FILE,SO CREATE IT
0098      LD      C,16H
0099      JR      FCBCALL
0100  ERROR1: ;                NO DIRECTORY SPACE
0101      LD      DE,DIRFUL
0102      JR      PRNEXIT
0103  DSKFUL: POP    BC
0104      LD      DE,NOSPAC
0105  PRNEXIT CALL    PRINT
0106      JR      WBOOT
0107  ENDFLW: POP    BC
0108      LD      DE,FCB      ;END OF WRITE FILE
0109      LD      C,10H      ;CLOSE FILE,ONLY WRITE OPERATION
0110      CALL    05H
0111      JR      WBOOT
0112  SETDMA: LD      C,01AH
0113      JR      CBDOS
0114  WRITEF: LD      C,15H
0115  FCBCALL LD      DE,FCB
0116      JR      CBDOS
0117  PRINT:  LD      C,09H
0118  CBDOS:  CALL    05H
0119      RET
0120  WBOOT:  POP    AF
0121      POP    BC
0122      POP    DE
0123      POP    HL
0124      RET
0125  DIRFUL: DB      0CH,ODH,'NO DIRECTORY SPACE$'
0126  NOSPAC: DB      0DH,0AH,'DISK FULL (NO SPACE)$'
0127  FLNAME: DB      'ENTER FILE NAME WHICH WRITE FROM BUFFE
0128      DB      0DH,0AH,'EXAMPLE A:XWRT.DAT OK---> $'
0129  RECNUM: DS      2
0130  ADDR:   DS      2
0131  BUFF:   DS      1024
0132      END

```

```

Errors      0
Range Count 3

```

Program Length 0544 (1348)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07

*** WRITE ***

Symbol	Value	Defn	References
ADDR	0142'	0130	0025 0063 0082
BDOS	0005	0009	
BUFF	0144'	0131	0032 0064
CBDOS	00C7'	0118	0094 0113 0116
CLOSEF	0010	0011	
CREATE	009D'	0097	0028
DELETE	0099'	0095	0027
DIRFUL	00D0'	0125	0101
DSKFUL	00A6'	0103	0039
ENDFLW	00AF'	0107	0049
ENTRY	0053'	0059	0021 0024
ERROR1	00A1'	0100	0030
FCB	005C	0015	0016 0108 0115
FCBCALL	00C0'	0115	0096 0099
FFER	E 0000'	0017	0008
FLNAME	00FC'	0127	0084
IBUFLN	0080	0014	0087
MAKEFL	0016	0013	
MOVDAT	0057'	0063	0031
MOVE	0021'	0031	0055
NEXT	0048'	0050	0047
NOSPACE	00E5'	0126	0104
PRINT	00C5'	0117	0085 0105
PRNEXIT	00AA'	0105	0102
PSTRING	0009	0010	
RECCONT	006B	0016	
RECNUM	0140'	0129	0022 0043 0050
SAMEBNK	006B'	0072	0069
SETDMA	00BA'	0112	0035
SETFCB	007E'	0084	0026
WBOOT	00CB'	0120	0106 0111
WRITEF	00BE'	0114	0037
WRITESQ	0015	0012	
WRT	0029'	0034	0054

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07
 *** TIMAGE ***

```

0001      NAME      ASMSUPRT
0002      ENTRY     IMUNPK
0003  IMUNPK: PUSH   AF
0004      PUSH     BC
0005      PUSH     BC
0006      XOR      A
0007      LD       (HL),A
0008      LD       (DE),A
0009      EX       (SP),IX
0010      LD       C,(IX+0)
0011      LD       B,(IX+1)
0012      PUSH     AF ;SW TO PAGE 1
0013      LD       A,02H
0014      OUT     (40H),A
0015      POP      AF ;END OF SW
0016      LD       A,(BC)
0017      PUSH     AF ;SW TO PAGE 0
0018      LD       A,01H
0019      OUT     (40H),A
0020      POP      AF ;END OF SW
0021      EX      DE,HL
0022      RLD
0023      EX      DE,HL
0024      RLCA
0025      RLCA
0026      RLCA
0027      RLCA
0028      RLD
0029      INC     BC
0030      LD     (IX+0),C
0031      LD     (IX+1),B
0032      POP     IX
0033      POP     BC
0034      POP     AF
0035      RET
0036
0037      ENTRY     IMPACK
0038  IMPACK: PUSH   AF
0039      PUSH     BC
0040      PUSH     BC
0041      EX      (SP),IX
  
```

```

0042      LD      C, (IX+0)
0043      LD      B, (IX+1)
0044      PUSH   BC
0045      PUSH   HL
0046      POP    BC
0047      POP    HL
0048      LD      A, (BC)
0049      PUSH   AF ; SW TO PAGE 1
0050      LD      A, 02H
0051      OUT    (40H), A
0052      POP    AF ; END OF SW
0053      RLD
0054      PUSH   AF ; SW TO PAGE 0
0055      LD      A, 01H
0056      OUT    (40H), A
0057      POP    AF ; END OF SW
0058      LD      A, (DE)
0059      PUSH   AF ; SW TO PAGE 1
0060      LD      A, 02H
0061      OUT    (40H), A
0062      POP    AF ; END OF SW
0063      RLD
0064      PUSH   AF ; SW TO PAGE 0
0065      LD      A, 01H
0066      OUT    (40H), A
0067      POP    AF ; END OF SW
0068      INC    HL
0069      LD      (IX+0), L
0070      LD      (IX+1), H
0071      LD      L, C
0072      LD      H, B
0073      POP    IX
0074      POP    BC
0075      POP    AF
0076      RET
0077
0078      ENTRY  CLS
0079      CLS:  PUSH   BC
0080          PUSH   DE
0081          LD      DE, 0000H
0082          LD      C, 8EH
0083          CALL  0005H
0084          POP    DE
0085          POP    BC
0086          RET

```

```

Errors          0
Range Count     0

```

```

Program Length  0079 (121)

```

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07

*** TIMAGE ***

Symbol	Value	Defn	References
CLS	E 006C'	0079	007B
IMPACT	E 0031'	003B	0037
IMUNPK	E 0000'	0003	0002



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

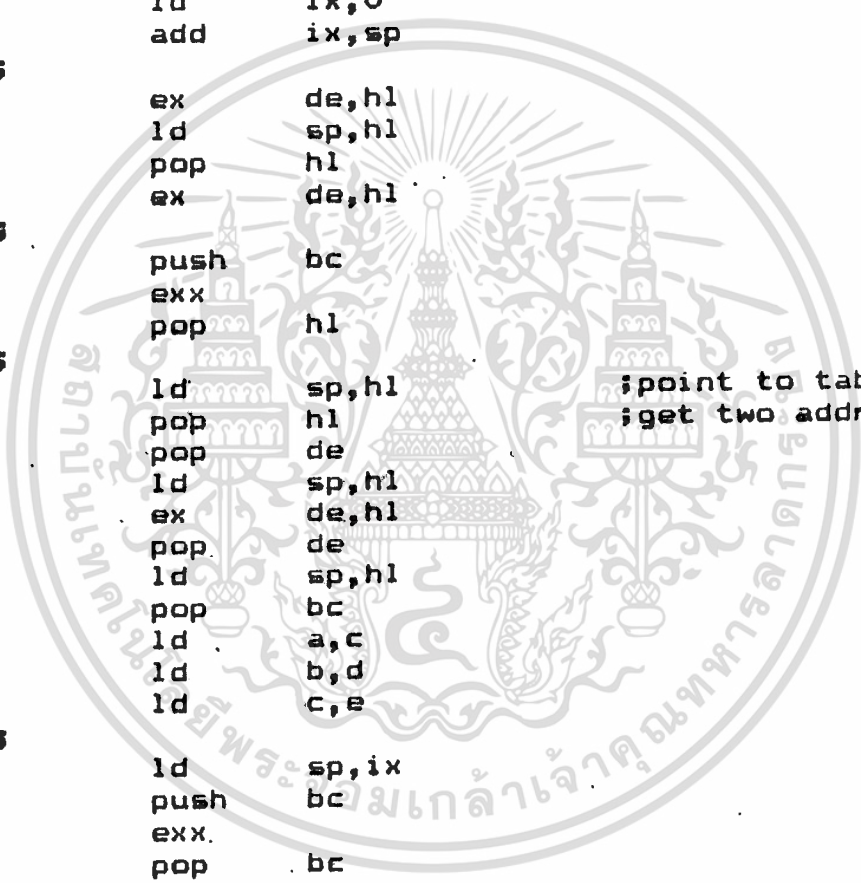
CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07

*** T3 ***

```

0001 ; -----
0002 ; SUBROUTINE TFPROJ
0003 ; FORMAT: CALL TFPROJ(FPROJ,ADDR,BYTE,BANK)
0004 ;
0005 ; SUBROUTINE TFBPRJ
0006 ; FORMAT: CALL TFBPRJ(ADDR,FPROJ,BYTE,BANK)
0007 ; -----
0008 NAME TRANSF
0009 ENTRY TFPROJ,TFBPRJ
0010 TFPROJ: PUSH AF
0011 push ix
0012 ld ix,0
0013 add ix,sp
0014 ;
0015 ex de,hl
0016 ld sp,hl
0017 pop hl
0018 ex de,hl
0019 ;
0020 push bc
0021 exx
0022 pop hl
0023 ;
0024 ld sp,hl ;point to table
0025 pop hl ;get two address
0026 pop de
0027 ld sp,hl
0028 ex de,hl
0029 pop de
0030 ld sp,hl
0031 pop bc
0032 ld a,c
0033 ld b,d
0034 ld c,e
0035 ;
0036 ld sp,ix
0037 push bc
0038 exx
0039 pop bc
0040 push hl
0041 exx
0042 pop hl
0043 ld de,store
0044 ldir ;move to buffer
0045 exx
0046 ld hl,store
0047 out (40h),a
0048 LDIR
0049 LD A,01
0050 OUT (40H),A

```



```

0051          pop      ix
0052          POP      AF
0053          RET
0054          ; -----
0055 TFBPPJ:  PUSH     AF
0056          push     ix
0057          ld       ix,0
0058          add      ix,sp
0059          ;
0060          ld       sp,hl
0061          pop      hl
0062          ;
0063          push     bc
0064          exx
0065          pop      hl
0066          ;
0067          ld       sp,hl          ;point to table
0068          pop      hl          ;get two address
0069          pop      de
0070          ld       sp,hl
0071          ex       de,hl
0072          pop      de
0073          ld       sp,hl
0074          pop      bc
0075          ld       a,c
0076          ld       b,d
0077          ld       c,e
0078          ;
0079          ld       sp,ix
0080          push     bc
0081          exx
0082          pop      bc
0083          push     hl
0084          exx
0085          pop      hl
0086          ld       de,store
0087          out      (40h),a
0088          LDIR
0089          LD       A,01
0090          OUT      (40H),A
0091          exx
0092          ld       hl,store
0093          ldir                    ;move to buffer
0094          pop      ix
0095          POP      AF
0096          RET
0097 STORE:   DS       512          ;DEFINE STORAGE 1/2 K BYTE
0098          END

```

```

Errors          0
Range Count     0

```

```

Program Length  026E (622)

```

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07

*** T3 ***

Symbol	Value	Defn	References
store	006E'	0097	0043 0046 0086 0092
TFBPRJ	E 0038'	0055	0009
TFPRQJ	E 0000'	0010	0009



การสร้างภาพตัดขวาง ของร่างกายโดยใช้ คอมพิวเตอร์

รศ.ดร.ไพรัช รัชชป
ผศ.ชม กัมป
สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจ

บทคัดย่อ

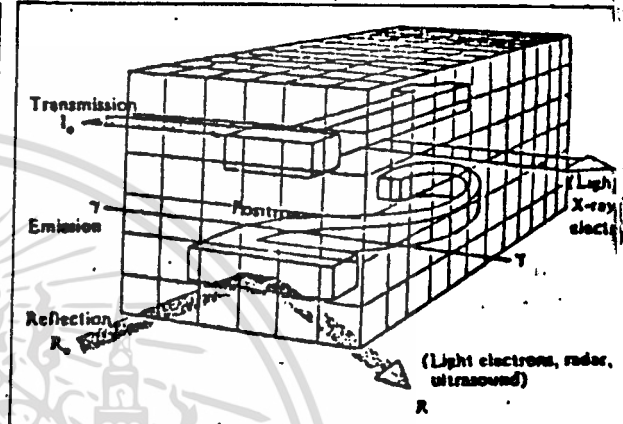
เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกาย หรือ Computerized Tomography (ซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า CT.) พึ่งกันพบและพัฒนามาขึ้นจนใช้งานได้ในช่วงเวลา 10 กว่าปีที่ผ่านมานี้เอง [1] เทคนิคที่สำคัญ ในการสร้างภาพก็คือการใช้รังสีเอ็กซ์ ผ่านเข้าไปในส่วนจากร่างกายที่ต้องการจะดูภาพตัดขวาง จากนั้นเราจะใช้ข้อมูลที่ได้จากหน่วยวัดปริมาณรังสี ผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลข้อมูลและสร้างภาพตัดขวางออกมา ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวซึ่งสั่งจากต่างประเทศ สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของเนื้อเยื่อมีความแม่นยำถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ [2]

บทความนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาและการพัฒนา ตลอดจนชนิดของเครื่องถ่ายภาพตัดขวางร่างกาย, คณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการสร้างภาพ ในตอนท้ายของบทความจะเป็นตัวอย่างการจำลองภาพและสร้างภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ NEC 300 ซึ่งติดตั้งที่สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตลาดกระบัง

1) บทนำ

วิศวกรตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ได้ตระหนักถึงปัญหาสำคัญในการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยไม่ต้องทำลายหรือตัดวัตถุนั้นออก เทคนิคในการสร้างภาพ (Image Reconstruction) นี้ มีความสำคัญและมีประโยชน์เป็นอย่างสูงต่อวงการแพทย์ในด้าน medical radiology และ nuclear medicine

ลองพิจารณารูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ตัน ซึ่งภายในประกอบด้วยเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 1 วิธีง่าย ๆ เพื่อที่จะรู้ว่

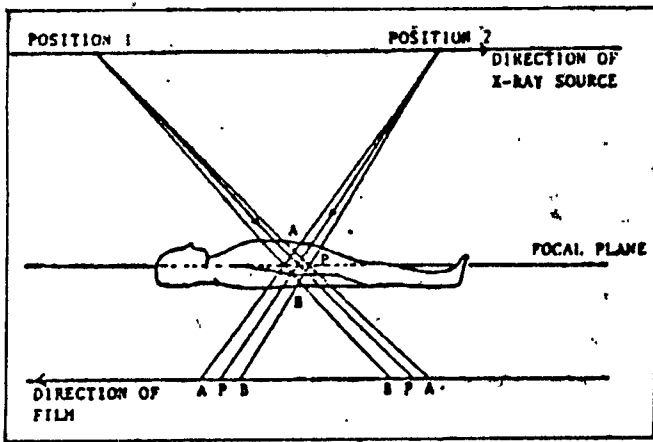


รูปที่ 1 หลักการสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีการส่งผ่าน, การแผ่และการสะท้อน

ภายในรูปสี่เหลี่ยมตันนี้ประกอบด้วยอะไรบางอย่างก็เหมือนว่าวัตถุนี้แนวขวาง ให้ผ่านส่วนที่ต้องการดูภาพตัดขวาง แต่ถ้าใช้วิธีนี้ บางโอกาสเราไม่สามารถจะทำได้เช่น การดูภาพตัดขวางร่างกาย ฯลฯ

เรามีวิธีสร้างภาพตัดขวางโดยไม่ต้องทำลายวัตถุ ออกเป็นหลักใหญ่ ๆ ได้ 3 ประการ คือ การส่งผ่าน (Transmission) การแผ่ (Emission) และการสะท้อน (Reflection) ในการส่งผ่านเราอาจจะใช้รังสีเอ็กซ์, ลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ความร้อน, แสง หรือ แหล่งพลังงานใดก็ได้ที่ประพฤติตามกฎของการดูดซึม (Absorption Law) พลังงานที่ผ่านเข้าไปในวัตถุจะถูกดูดซึมในส่วนต่าง ๆ ของวัตถุไม่เท่า พลังงานส่วนที่ทะลุออกมาจากวัตถุซึ่งเราเรียกว่าโปรเจกชัน ถูกเก็บไว้ในส่วนของความจำและนำไปประมวลผลสร้างภาพ วิธีนี้เป็นวิธีสร้างภาพตัดขวางได้ชัดเจนที่สุดซึ่งเป็นที่นิยมกันมากที่สุด โดยใช้แหล่งพลังงานเป็นรังสีเอ็กซ์ ในวิธีการแผ่เรา

- ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตลาดกระบัง
- หัวหน้าภาควิชาคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตลาดกระบัง
- นักศึกษาปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตลาดกระบัง



รูปที่ 2 การสร้างภาพในแนวนอน (TAT)

รังสีแกมมาฉายเข้าไปในทิศทางแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ทิศทางขึ้นไป ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการเดินทางของรังสีแกมมาที่ผ่านตำแหน่งเดียวกัน ก็สามารถนำไปประมวลผลหาตำแหน่งของจุดนั้นได้ ส่วนหลักการสะท้อนก็จะใช้คุณสมบัติการสะท้อนของผิวหน้าของวัตถุ มาตรวจสอบลักษณะของวัตถุได้ แหล่งพลังงานอาจจะใช้ อุลตราโซนิก, แสง หรือ ลำอิเล็กตรอนก็ได้

2) ประวัติและการพัฒนา

คณิตศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างภาพ ถูกวางรากฐานมาตั้งแต่ปี 1917 และพัฒนาขึ้นในปี 1950 และ 1963 แต่ก็ยังไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ จนกระทั่งในปี 1970 จึงสามารถคิดเทคนิคในการสร้างภาพตัดขวางที่เป็นประโยชน์ในวงการแพทย์ได้ ระบบอย่างง่าย ๆ ของการสร้างภาพได้แนวความคิดมาจากระบบการกำเนิดภาพในแนวนอนโดยใช้จุดกำเนิดของรังสีเอ็กซ์และตัวตรวจวัดปริมาณรังสี เคลื่อนที่พร้อม ๆ กันในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูป 2 ดังนั้นภาพที่ได้ออกมาจะชัดเจนอยู่ในระนาบที่ถูกโฟกัส ส่วนระนาบที่อยู่เหนือและใต้ระนาบโฟกัส จะเป็นภาพมัว ๆ (motion-blurred image) ซ้อนอยู่ในเวลาต่อมา ระบบนี้สามารถพัฒนาจนสามารถใช้งานได้ โดยเราเรียกระบบนี้ว่า Conventional Transverse-Axial Tomogram (TAT)

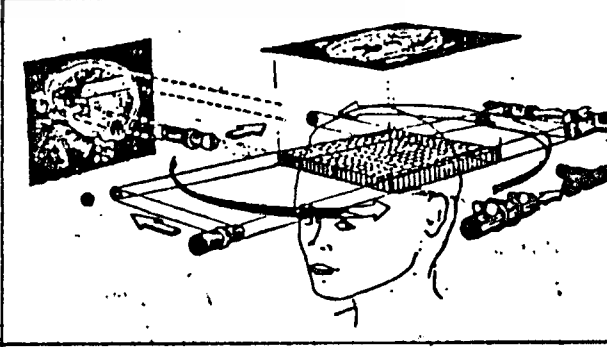
ในปี 1963 Kuhl และ Edwards สามารถคิดเทคนิคถ่ายภาพตัดขวางของวัตถุได้ โดยใช้ลำรังสีเอ็กซ์ฉายผ่านส่วนที่สนใจของร่างกาย ในขณะที่เคลื่อนลำรังสีเอ็กซ์ตัววัดปริมาณรังสีก็จะเคลื่อนที่ตามไปด้วย ดังในรูป 3 เมื่อสิ้นสุดการกวาดของรังสีในแนวนอนผ่านส่วนของร่างกายระนาบของการกวาดก็จะขยับไปอีก 1 องศา และทำการกวาดรังสีใหม่ จนกระทั่งครบ

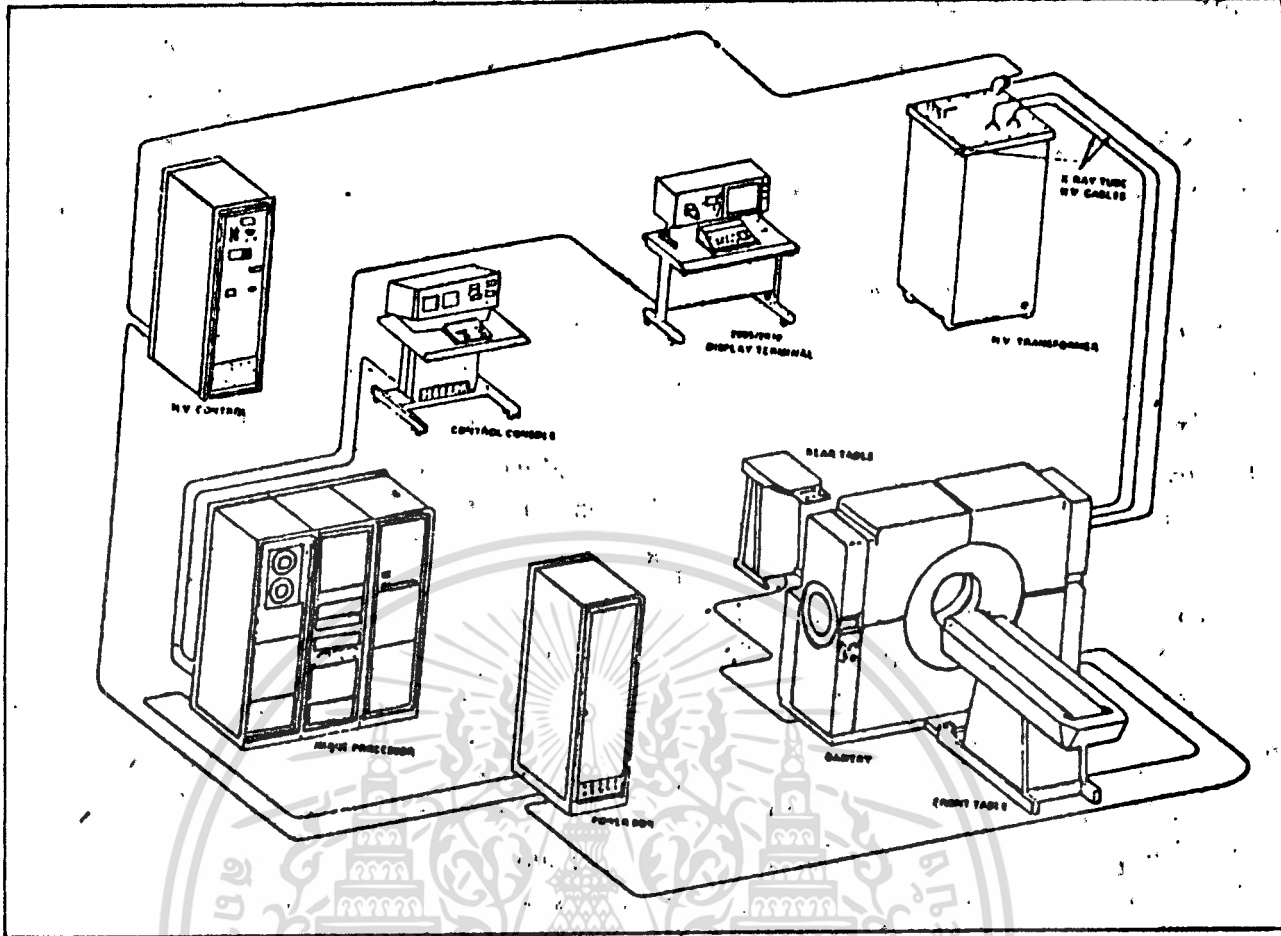
180 องศา เราจะนำไปเจ็ทขึ้นทุก ๆ องศาไปประมวลผลสร้างภาพตัดขวางขึ้น

คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายเครื่องแรกขึ้นในด้านของการคำนวณแบบ โดย G.H. Hounsfield ซึ่งได้ให้กับห้องปฏิบัติการของบริษัท EMI ในประเทศอังกฤษ 1976 โดยในการทดลองครั้งแรก ใช้แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์พลังงานต่ำ ใช้เวลาถึง 9 วันในการสร้างภาพ 1 ภาพ ใช้ในการคำนวณการสร้างภาพถึง 28,000 สมการ โดยใช้ในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ถึงสองชั่วโมงครึ่ง, ภาพที่ได้มีความถูกต้องเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเมื่อวิธีการทางคณิตศาสตร์ลดจนความรู้ทางด้านรังสีเอ็กซ์พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ก็ทำให้อุปกรณ์ในการสร้างภาพลดลงมาก และก็มีความถูกต้องมากขึ้นด้วย คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายเครื่องแรก คิดค้นขึ้นที่โรงพยาบาล Atkinson Morley ในปี 1971 ใช้คอมพิวเตอร์ของ ICL สามารถสร้างภาพโดยใช้เวลาประมาณ 20 นาที/ภาพ ปีถัดมาการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าไปไกล จึงได้นำคอมพิวเตอร์และไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้กับเครื่องดังกล่าว ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตและสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

ในปัจจุบันนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายได้พัฒนากันมากโดยมีบริษัทใหญ่ที่ผลิตออกมามากกว่า 15 บริษัท เช่น EMI ของอังกฤษ, บริษัท Ohio-nuclear ของอเมริกา เป็นต้น เครื่องคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายที่เห็นในรูปนี้เป็นของบริษัท Ohio-nuclear รุ่น Δ -scan 2005/2010 ปัจจุบันติดตั้งอยู่ที่โรงพยาบาลเปาโล เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงมากเครื่องหนึ่ง สามารถที่จะดูภาพตัดขวางของร่างกายได้ทั้งตัว โดยใช้เวลาในการสร้างภาพเพียง 1 นาที สามารถดูบันทึกภาพลงในเทปเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานได้ 134 ภาพ เทปหนึ่งม้วนหรือจะบันทึกลงในฟลอปปี ดิสก์ ได้ 30 นอกจากนี้ยังมี mode ในการปรับแต่งภาพ (ซึ่งมีดิสเพลย์

รูปที่ 3 การสร้างภาพตัดขวางส่วนศีรษะโดยใช้หลักการของการกวาดลำรังสี





รูปที่ 4 คอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกาย ของ Ohio-Nuclear รุ่น Δ -scan 2005/2010

จอ CRT) ซึ่งทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยได้โดยสะดวกอีกด้วย

8) หน้าที่การพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างภาพ

สมมติให้ $f(x, y)$ แทน Image function ของรูปตัดขวางที่กำลังพิจารณา

ให้ $F(u, v)$ เป็น ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบ 2 มิติ ของ $f(x, y)$ ดังนั้น

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (1)$$

พิจารณาโปรเจกชันของ image ตามแนวแกน x จะได้

$$p_y(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy \quad (2)$$

เมื่อทำฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันนี้

$$P_y(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p_y(x) \exp[-2j\pi ux] dy \quad (3)$$

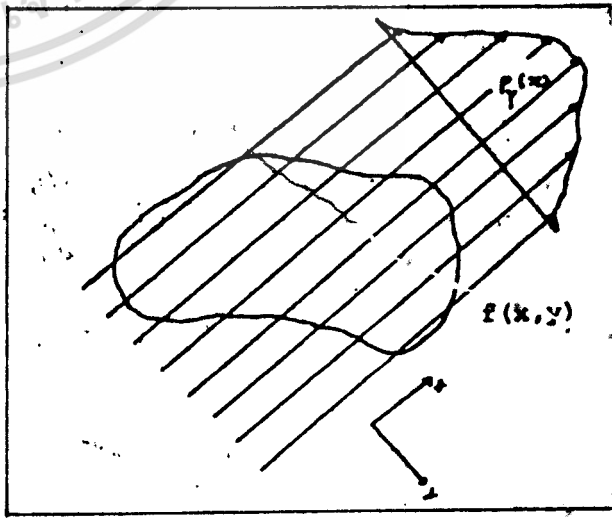
แทนค่า $p_y(x)$ จาก (2) ลงใน (3)

$$P_y(u) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-2j\pi ux] dx dy \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถกล่าวได้ว่า ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันจะเท่ากับ central profile ของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ image function นั่นคือ

$$P_y(u) = F(u, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-2j\pi ux] dx dy$$

รูปที่ 5 การเกิดโปรเจกชันในแนวแกน x



ต่อไปพิจารณา โปรเจกชัน ที่หมุนทำมุม θ ดัง

รูปที่ 6

สามารถนิยาม ระนาบของการหมุนดังนี้ :

$$S = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad t = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (6)$$

$p(S_1, \theta)$ เป็นโปรเจกชันที่ทำมุมกับแกน Y เท่ากับ θ และ
เกิดตามเส้นซึ่งขนานกับ t และห่างจากจุดกำเนิดเท่ากับ S_1

$$p(S_1, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dS \quad (7)$$

$$S_1 = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (8)$$

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของโปรเจกชันนี้คือ

$$P(r_1, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p(S_1, \theta) \exp[-j2\pi r_1 S_1] dS_1 \quad (9)$$

ถ้าพิจารณาโปรเจกชันทั้งหมดของระนาบ จาก (7),

(9) จะได้

$$P(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-j2\pi r(x \cos \theta + y \sin \theta)] dx dy \quad (10)$$

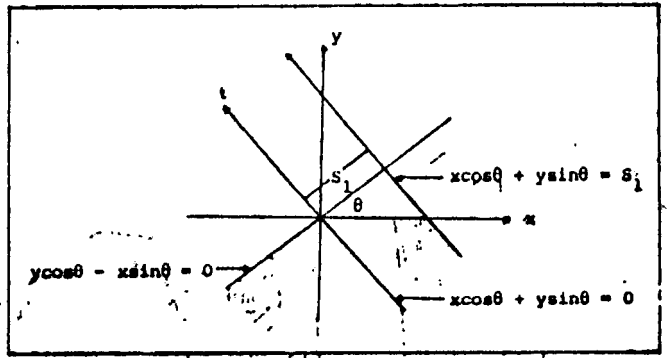
จะเห็นว่าสมการที่ (10) ก็คือฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ของ
image function ในสมการที่ (1) เมื่อ $u = r \cos \theta$ และ $v =$

$r \sin \theta$ นั่นก็คือ เมื่อเรารู้ค่าของ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $P(r, \theta)$

สำหรับทุก ๆ ค่าตัวแปร r และ θ เราก็สามารถคำนวณหา image

function ได้จากการทำอินทิเกรตฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) \exp[j2\pi(ux + vy)] W dx dy$$

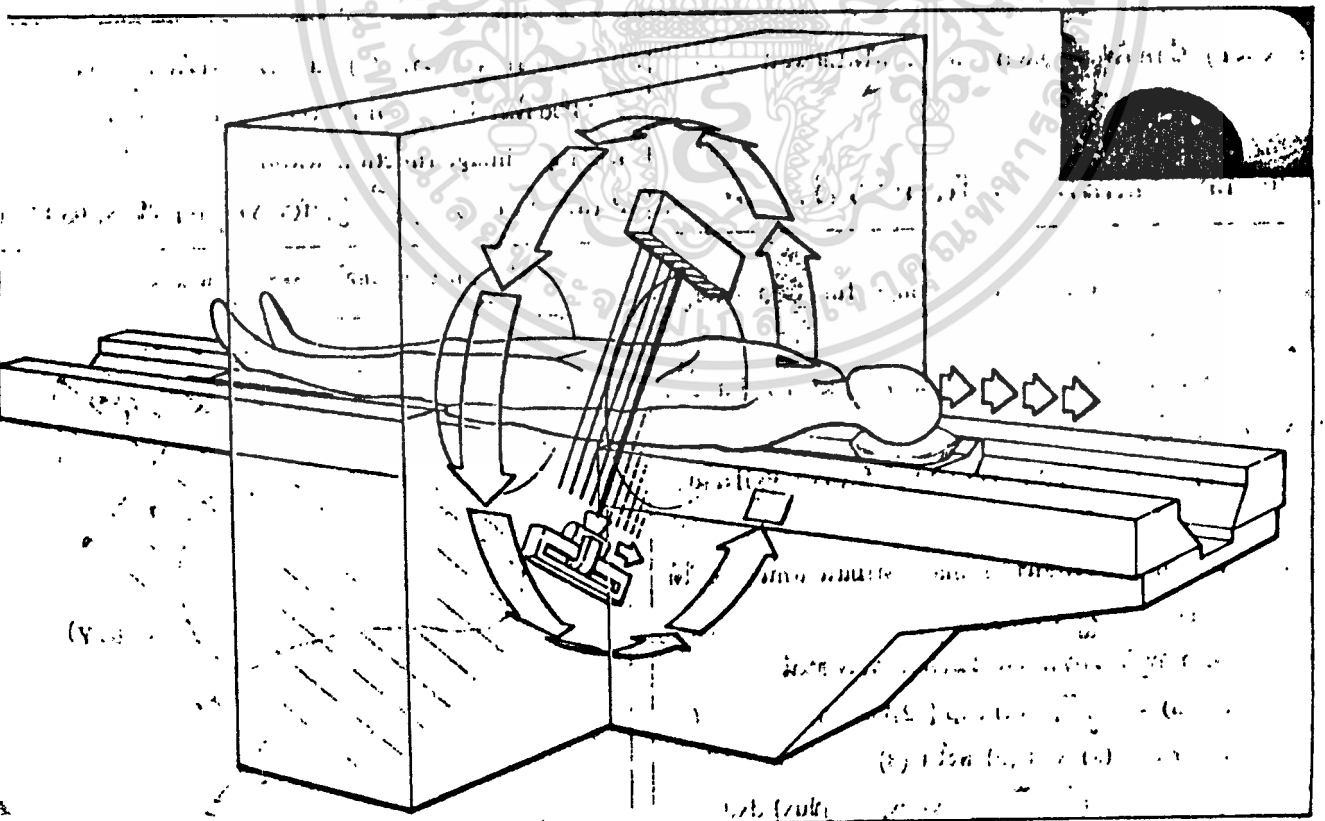


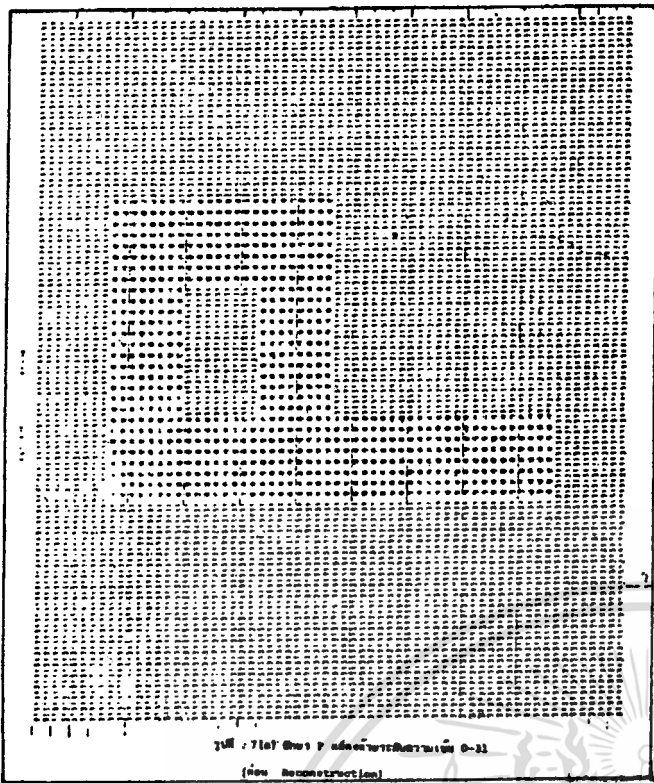
รูปที่ 6 ระนาบคดของโปรเจกชันที่หมุนทำมุม θ ได้ ๆ

วิธีที่แสดงให้เห็นนี้เป็นเพียงเทคนิคพื้นฐานแบบหนึ่ง
(ซึ่งเรียกว่า Fourier Transform Reconstruction [1]) ที่
สามารถใช้ในการสร้างภาพตัดขวางได้ ยังมีวิธีทางคณิตศาสตร์
แบบอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาในการคำนวณน้อย
กว่า ซึ่งจะหาโอกาสนำเสนอต่อไป

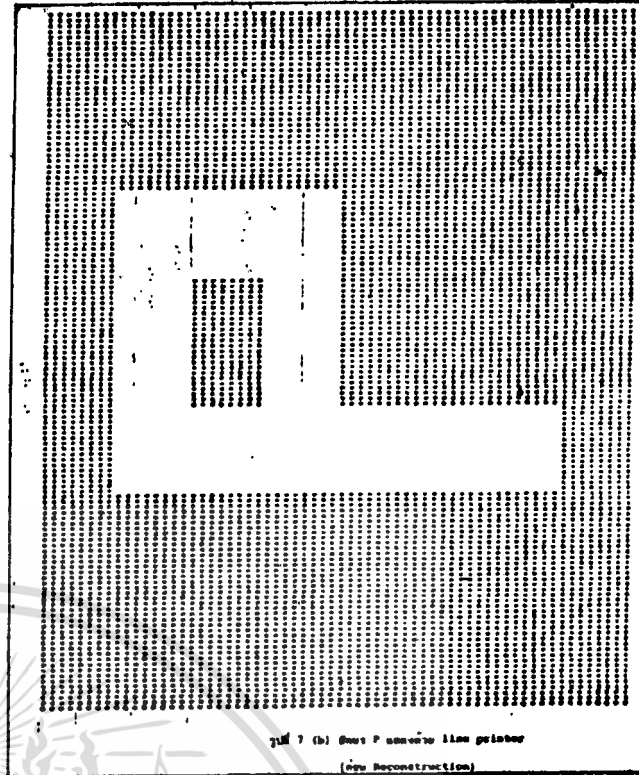
4) ผลการทดลอง

สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ได้ดำเนินการ
การวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ (NEC 300) ทำการจำลอง (Simu-
late) ภาพ ขนาด 64 x 64 จุด ภาพแรกในรูป 7(a) เป็นตัว

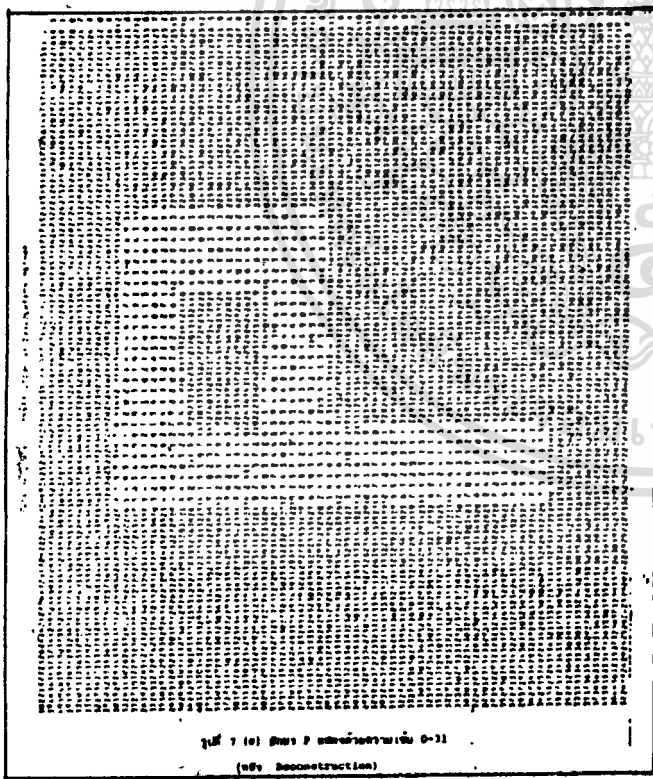




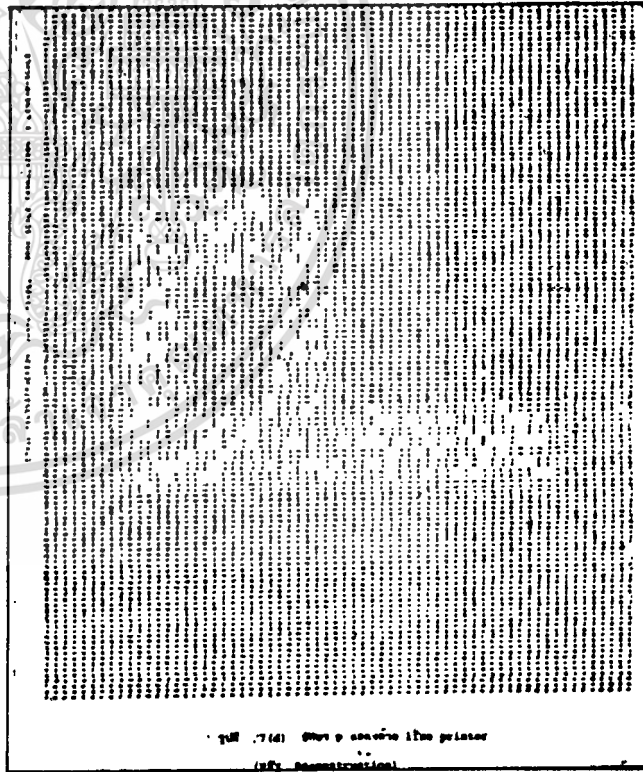
รูปที่ 7(a) ภาพ P สแกนด้วยกระดาษพิมพ์ 0-21
(copy Reconstruction)



รูปที่ 7 (b) ภาพ P สแกนด้วย line printer
(copy Reconstruction)

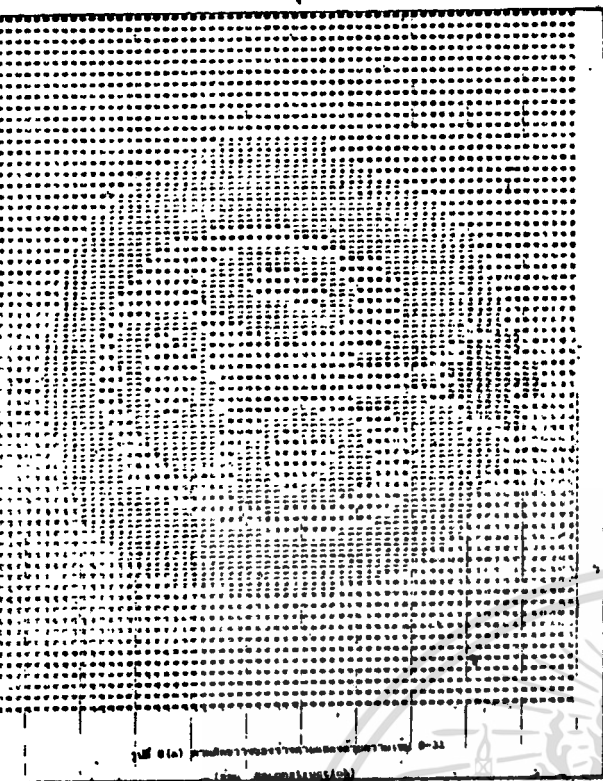


รูปที่ 7 (c) ภาพ P สแกนด้วยกระดาษพิมพ์ 0-21
(copy Reconstruction)

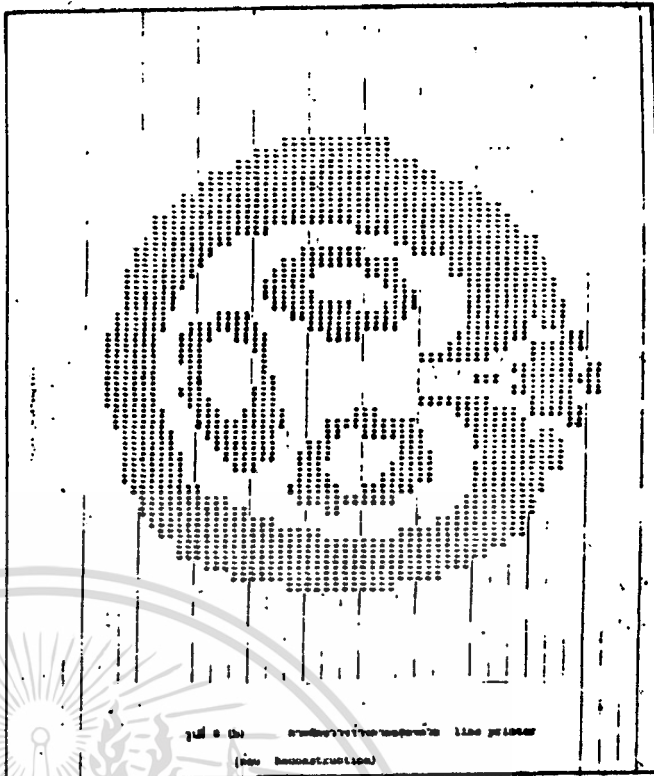


รูปที่ 7(d) ภาพ P สแกนด้วย line printer
(copy Reconstruction)

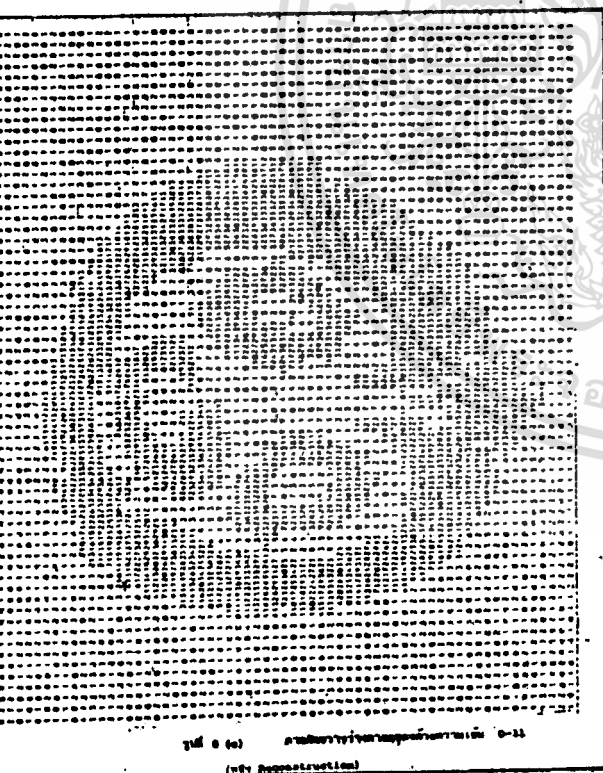
วิศวกรรมสาร/ สิงหาคม 2525
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



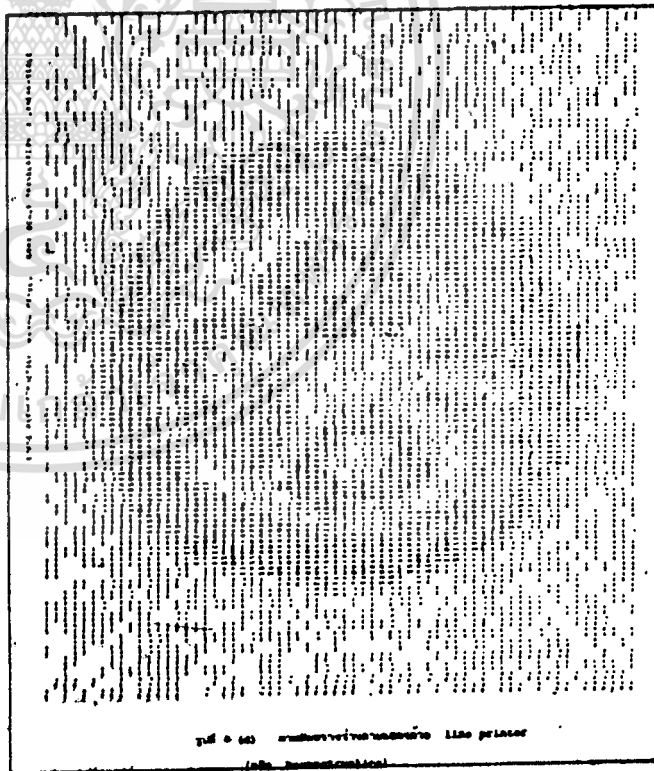
รูปที่ 0 (a) ตามมติของสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ 0-31
(Not reproduction)



รูปที่ 0 (b) ตามมติของสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ 0-31
(Not reproduction)

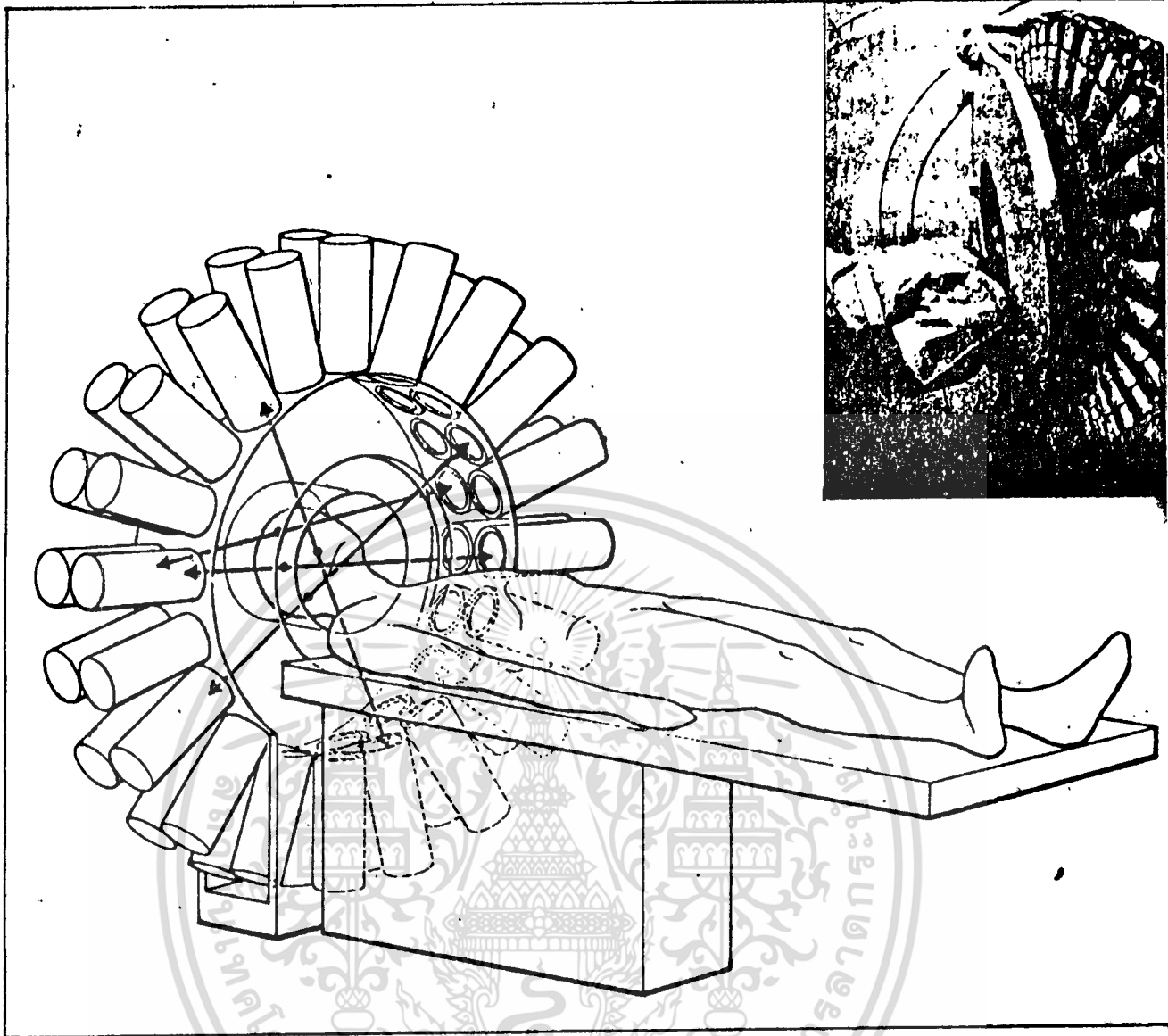


รูปที่ 0 (a) ตามมติของสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ 0-31
(Not reproduction)



รูปที่ 0 (a) ตามมติของสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ 0-31
(Not reproduction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยวาทกรรมเสรี/ระดิงหาคม 2626
ไม่วารณมิใดะทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อักษร P มีระดับสัญญาณ 2 ระดับ คือ 0 กับ 31 (0 ว่างที่สุด, 31 เข้มที่สุด) ภาพที่ 2 ในรูป 8 (a) เป็นภาพตัดขวางของร่างกาย ซึ่งมีระดับสัญญาณ 0, 16, 31 หลังจากที่ทำกาการจำลองการส่องรังสีเอ็กซ์ ผ่านรูปนี้ ทุก ๆ θ รวม 180° แล้ว จึงทำการประมวลสัญญาณสร้างภาพขึ้น ดังรูป 7 (d) และรูป 8 (d) ตามลำดับ

5) สรุป

คณะผู้ทำการวิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกาย ซึ่งจะมีมากขึ้นเมื่อการแพทย์เจริญขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ดังกล่าวต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศจึงทำให้ต้องประสบปัญหาที่สำคัญสองประการกล่าวคือ ราคาที่สูงมากและความลำบากในการบำรุงรักษา คณะผู้วิจัยเชื่อว่าหากได้รับการสนับสนุนทางการเงินอย่าง

แท้จริงแล้วจะสามารถสร้างคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวางร่างกายขึ้นมาใช้ในประเทศเอง อันจะเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์และความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านนี้ในประเทศไทย

6) เอกสารอ้างอิง

- [1] ERNEST L. HALL, "Computer Image Processing and cognition." Academic Press, New York, 1979
- [2] David M.Panton, "Mathematical Reconstruction Techniques in Computer Axial Tomography," Math. Sci., vol. 6, pp. 37-1981
- [3] Z.H. Cho and J.R. Burger, "Construction, Restoration, and Enhancement of 2 and 3-Dimensional Images," IEEE Trans. Nucl.Sci., vol. NS-24, pp 886-899; April, 1977
- [4] John W. Strogbehn, Carter H. Yates, Bruce H. Curran Edw., S. Sternicle, "Image Enhancement of Conventional Transverse Axial Tomograms," IEEE Trans. Biomed., vol. BME-24, May, 1979