

การปรับปรุงเครื่องเอ็กซ์เรย์แบบ C-ARM เพื่อสร้างภาพ 3 มิติ

สุวิข กวีกิจวิษา†, ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ †, ชีรสาส์น คีรีรัฐนิคม‡ สิทธิโชค อนันตเสรี‡
และพลศาสตร์ เลิศประเสริฐ†

†ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

‡ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์ปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เครื่องเอกซเรย์ธรรมดาสามารถสร้างภาพ 3 มิติได้เช่นเดียวกับเครื่อง CT
2. พัฒนาระบบเก็บภาพอัตโนมัติสำหรับเครื่องเอกซเรย์ C-ARM



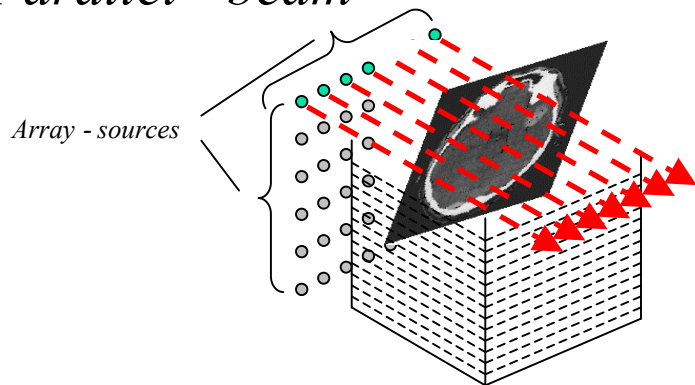
หัวข้อที่น่าสนใจ

- บทนำ
- วิธีการสร้างภาพตัดขวาง
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์จริง
- สรุปผลการวิจัย

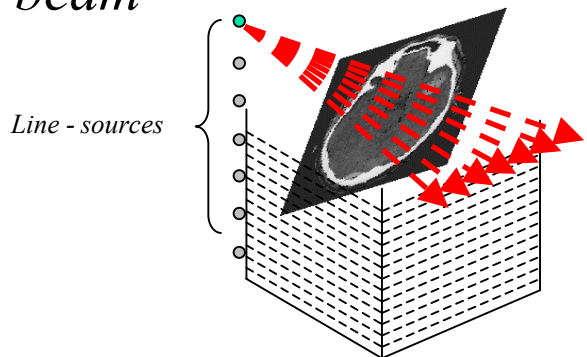
บทนำ

การวิเคราะห์ทางเดินของรังสีเอกซ์

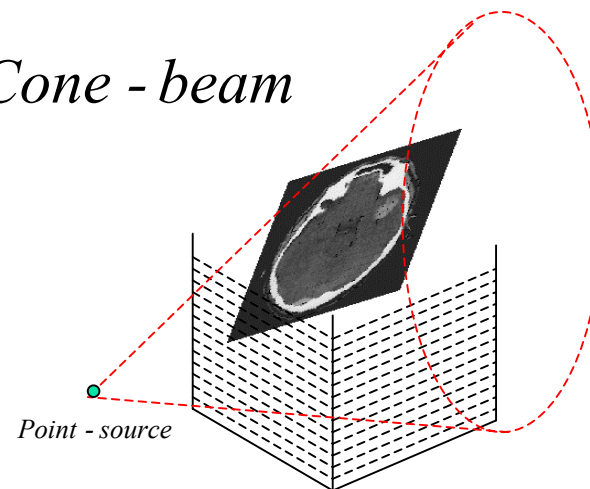
Parallel - beam



Fan - beam

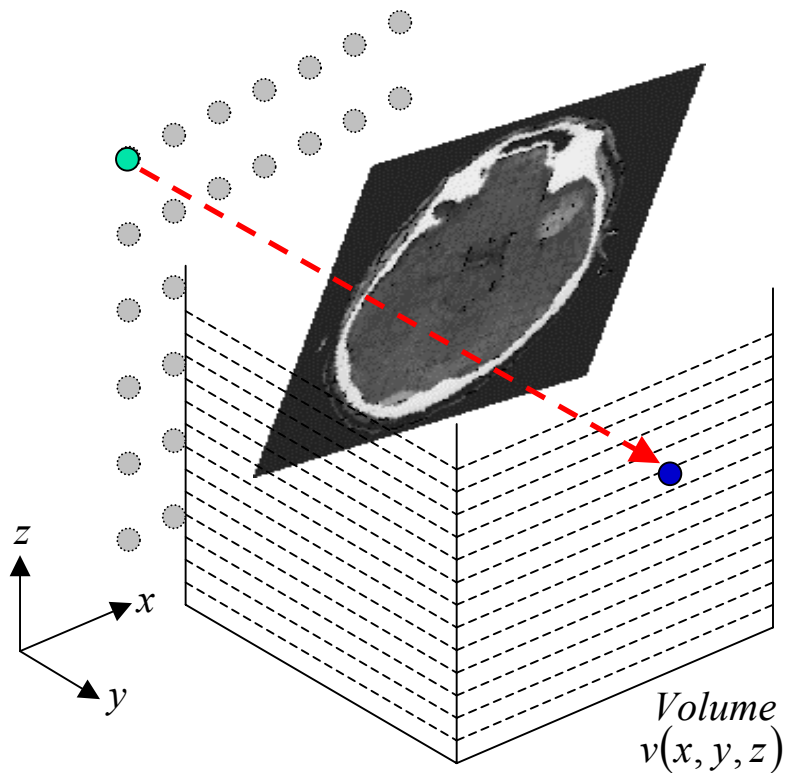


Cone - beam



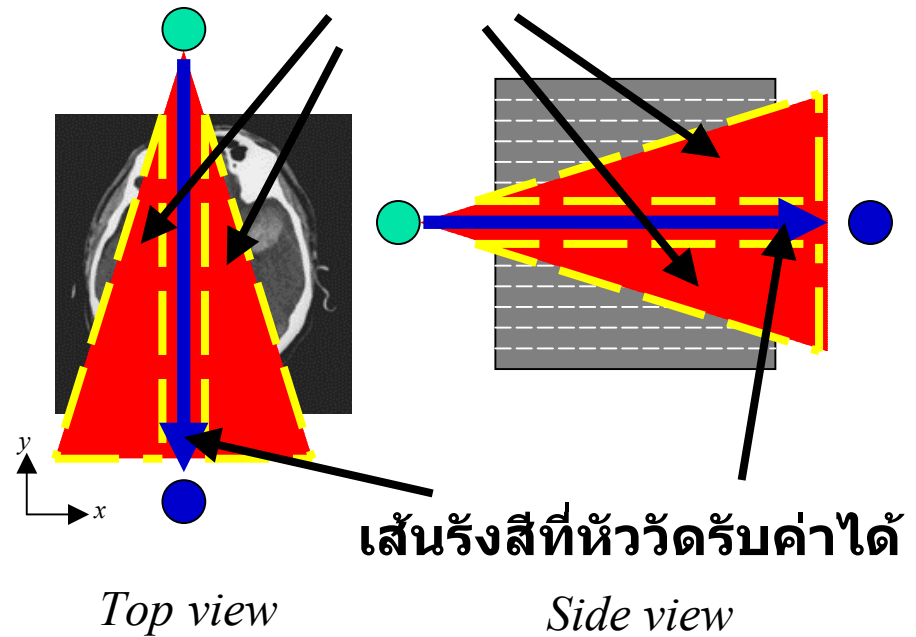
บทนำ

การเก็บข้อมูลรังสีเอกซ์แบบขนาน (Parallel-beam)



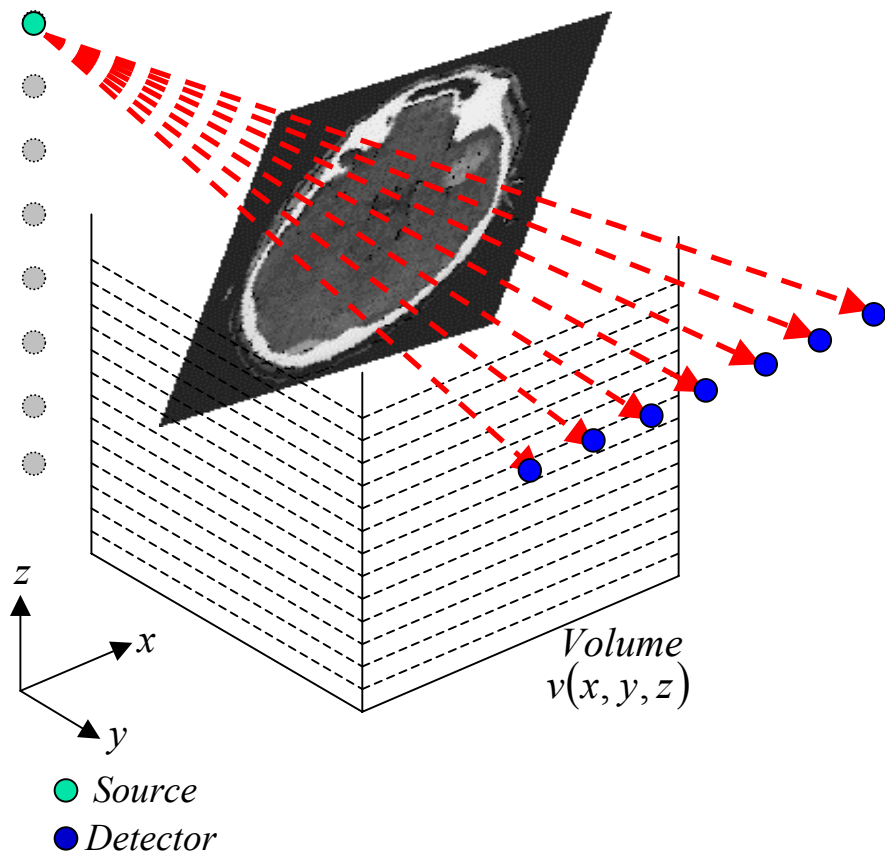
- Source
- Detector

พื้นที่ที่เส้นรังสีผ่านแต่ไม่ถูก

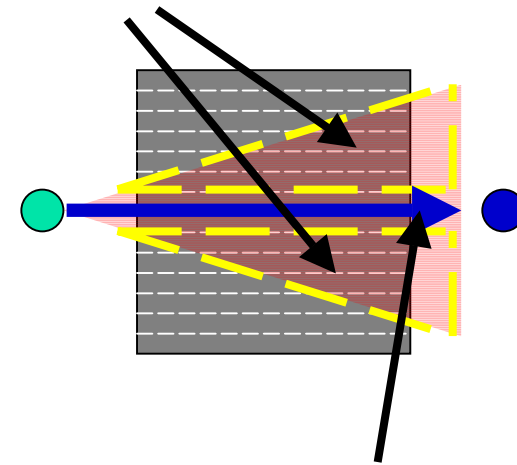


บทนำ

การเก็บข้อมูลรังสีเอกซ์แบบพัด (Fan-beam)



พื้นที่ที่เส้นรังสีผ่านแต่ไม่ถูกเก็บค่า

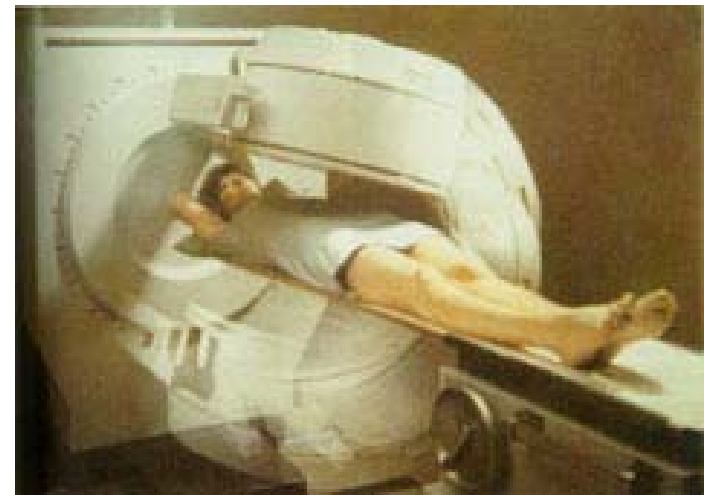
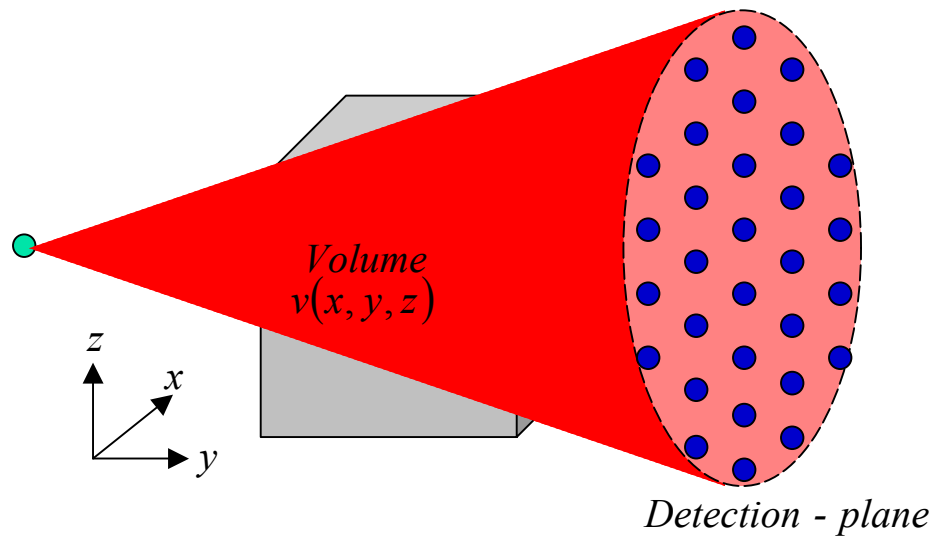


เส้นรังสีที่หัววัดรับค่าได้

Side view

บทนำ

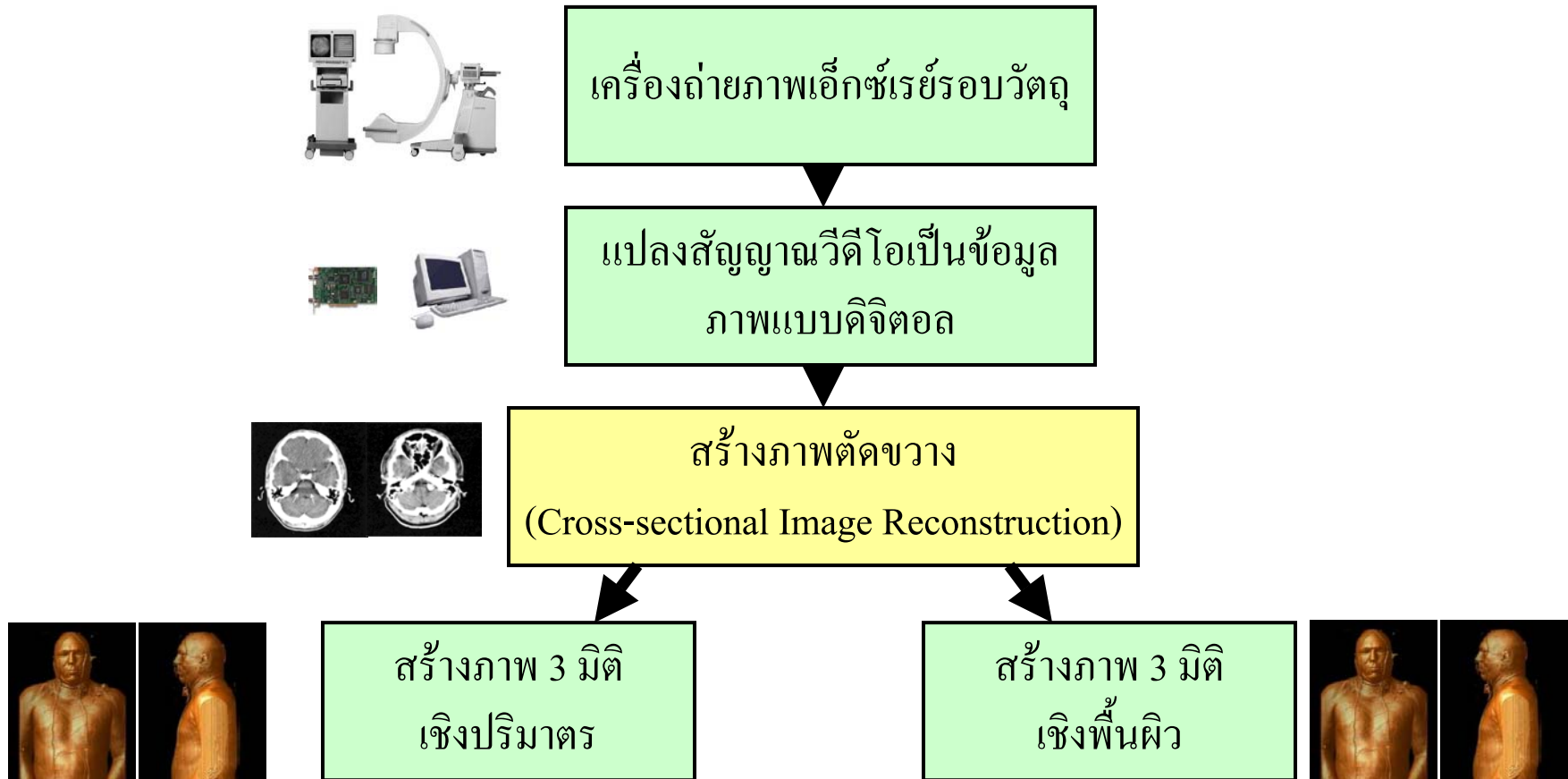
การเก็บข้อมูลรังสีเอกซ์แบบกรวย (Cone-beam)



- Source
- Detector

บทนำ

ระบบการสร้างภาพตัดขวางและภาพ 3 มิติจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์





หัวข้อที่น่าสนใจ

- บทนำ
- **วิธีการสร้างภาพตัดขวาง**
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์จริง
- สรุปผลการวิจัย

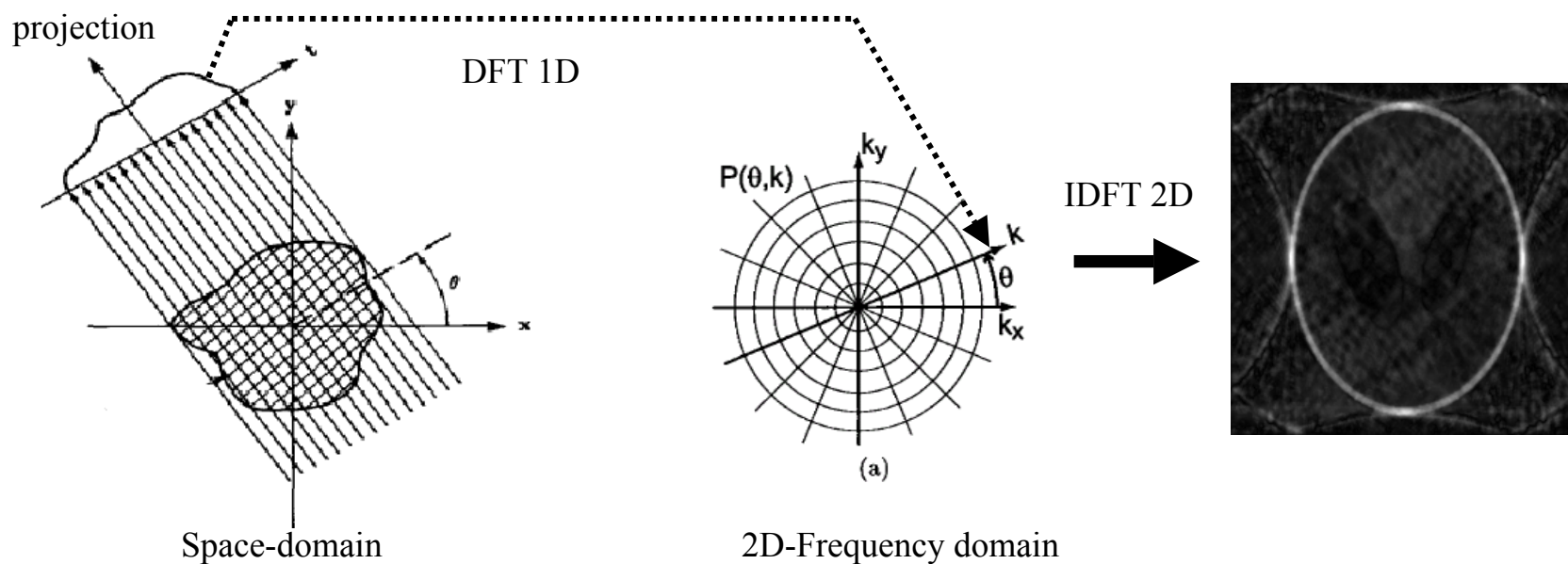


วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

- วิธีการแปลงฟูเรียร์
- วิธีแบ็คโพรเจกชัน
- วิธีฟิลเตอร์แบ็คโพรเจกชัน
- วิธีทางพีชคณิต

วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์

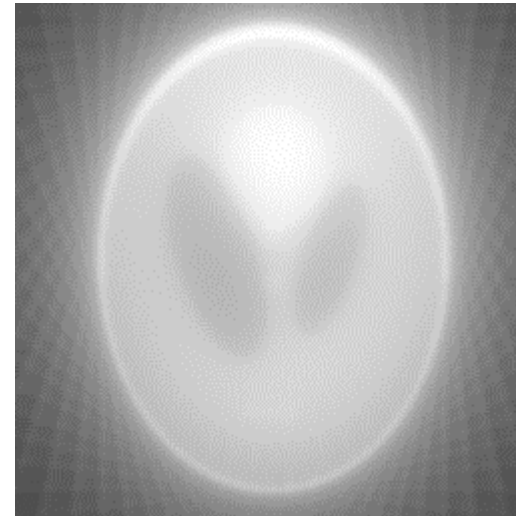
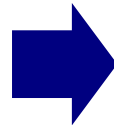
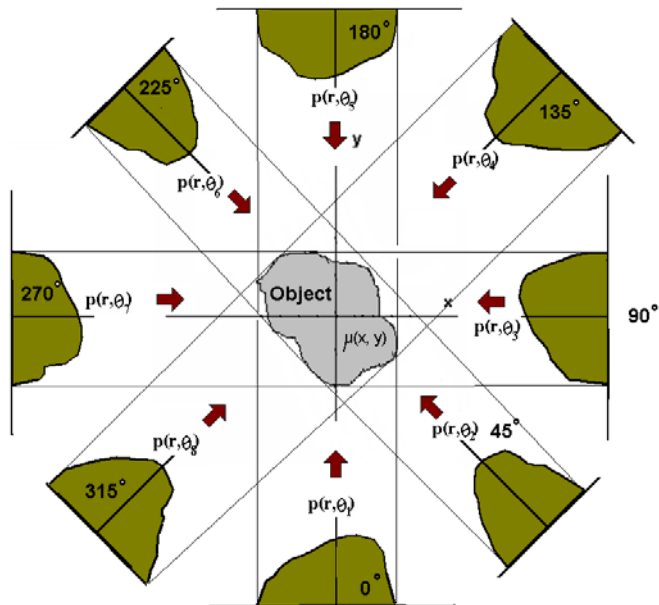


$$F_{1D} \{p_{\theta}(t)\} = P_{\theta}(k) \quad (1)$$

$$f(x, y) = F_{2D}^{-1} \{F(k_x, k_y)\} \quad (2)$$

วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีแบ็คโปรเจกชัน

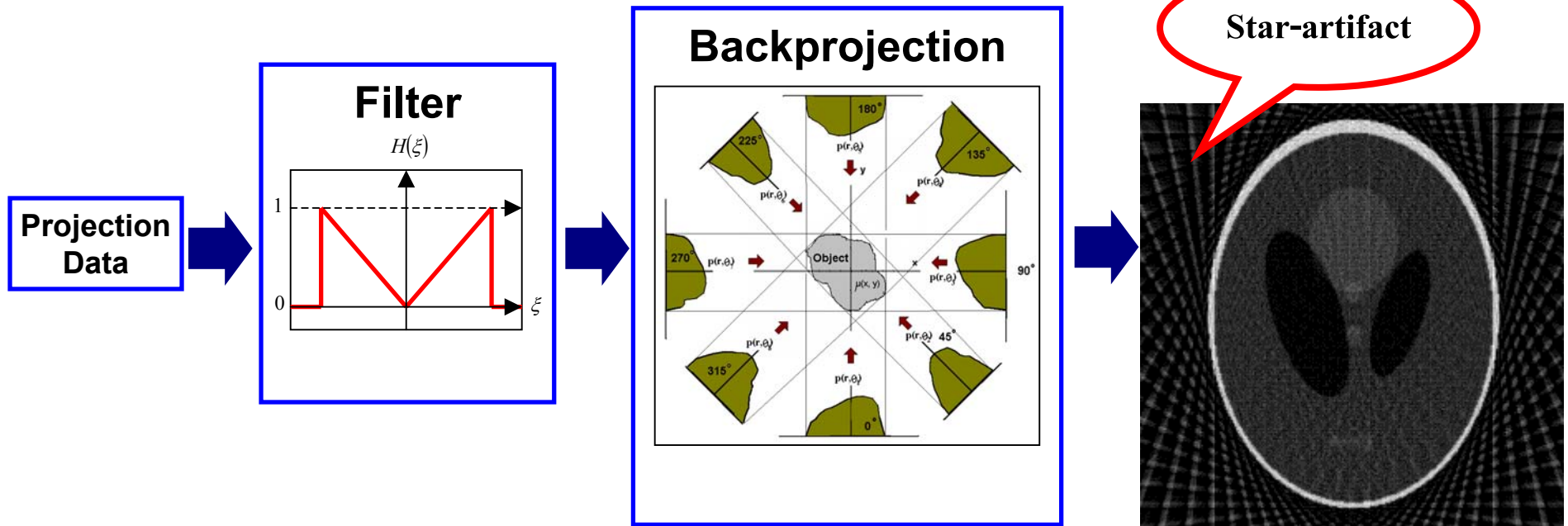


$$f(x, y) = \int_0^{\pi} p_{\theta}(t) d\theta \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} t &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ s &= y \cos \theta - x \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางโดยวิธีฟิลเตอร์แบ็คโปรเจกชัน



$$q_{\theta}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} p_{\theta}(t) e^{-j2\pi s} ds \quad (5)$$

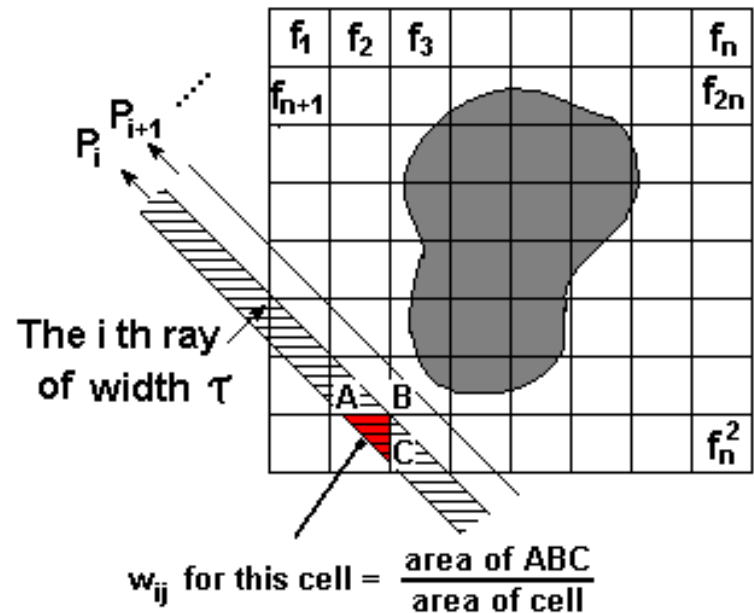
$$f(x, y) = \int_0^{\pi} q_{\theta}(t) d\theta \quad (6)$$

วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางด้วยอัลกอริทึมแบบพีชคณิต

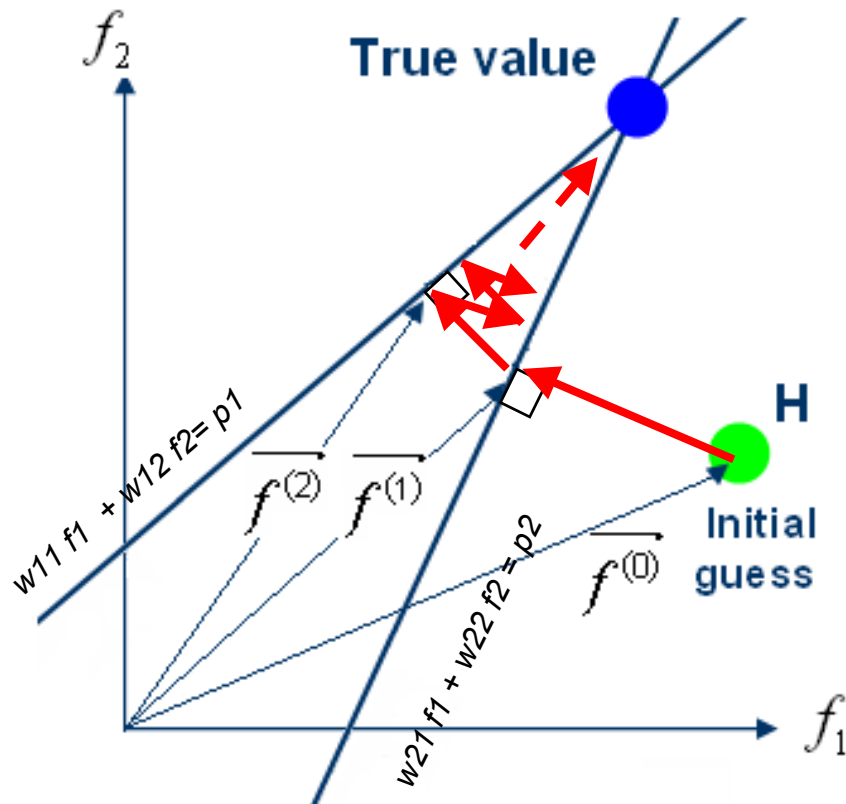
$$\sum_{j=1}^N w_{ij} f_j = p_i \quad (7)$$

- P_i เป็นข้อมูลโปรเจกชันตามเส้นแสงที่ i
- w_{ij} เป็นอัตราส่วนพื้นที่ที่เซลล์ที่ j กับแสงเส้นที่ i ผ่าน
- f_j เป็นข้อมูลในเซลล์ที่ j



วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

Kaczmarz method



$$\begin{aligned} w_{11} f_1 + w_{12} f_2 &= p_1 \\ w_{21} f_1 + w_{22} f_2 &= p_2 \end{aligned} \quad (8)$$



วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางด้วยอัลกอริธึมแบบพีชคณิต

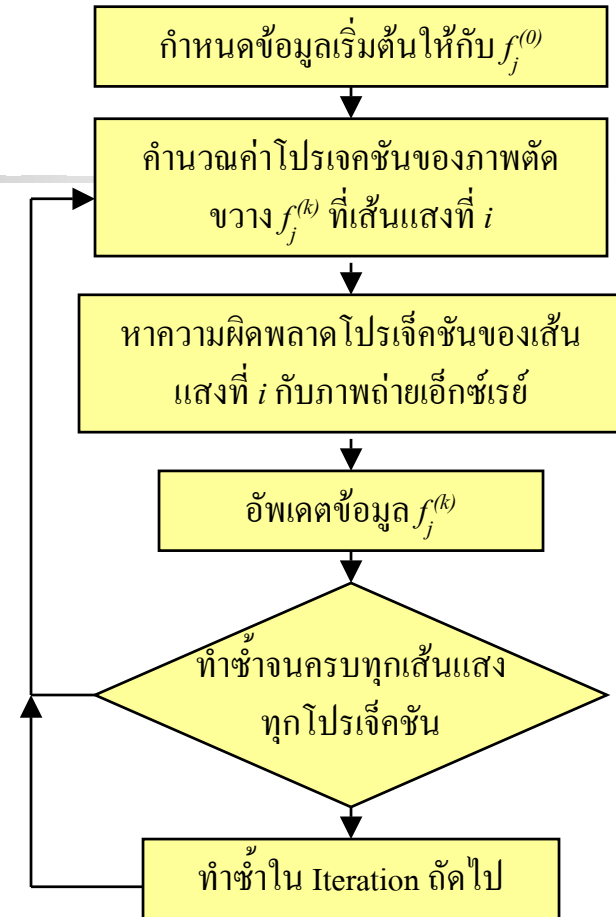
- Algebraic Reconstruction Technique (ART)
- Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SART)

วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางวิธีทางพีชคณิตแบบ ART

$$f_j^{(k+1)} = f_j^{(k)} + w_{ij} \frac{p_{i\theta} - \sum_{n=1}^N w_{in} f_n^{(k)}}{\sum_{n=1}^N w_{in\theta}}$$

- p_i คือข้อมูล โปรเจกชันจริง เส้นที่ i
- f_j คือข้อมูลในเซลล์ที่ j
- w_{ij} คืออัตราส่วนพื้นที่เซลล์ที่ j ที่แสงเส้นที่ i ผ่าน
- k คือจำนวนการทำซ้ำ
- i คือตำแหน่งของเส้นแสง
- j คือตำแหน่งของเซลล์ในภาพ

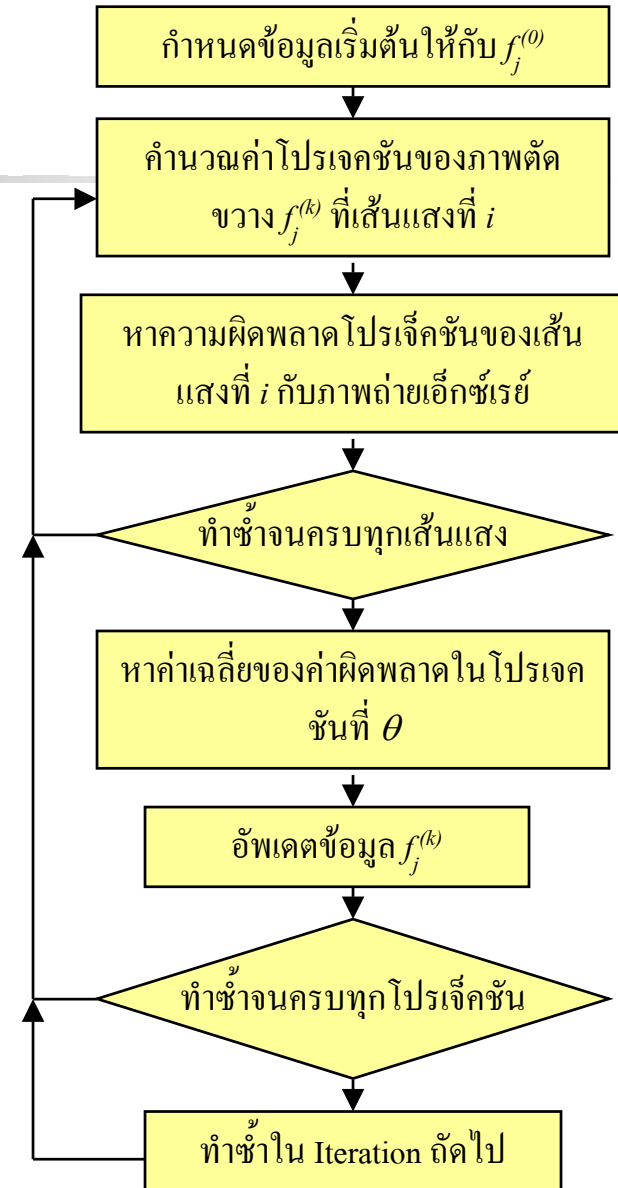


วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางวิธีทางพีชคณิตแบบ SART

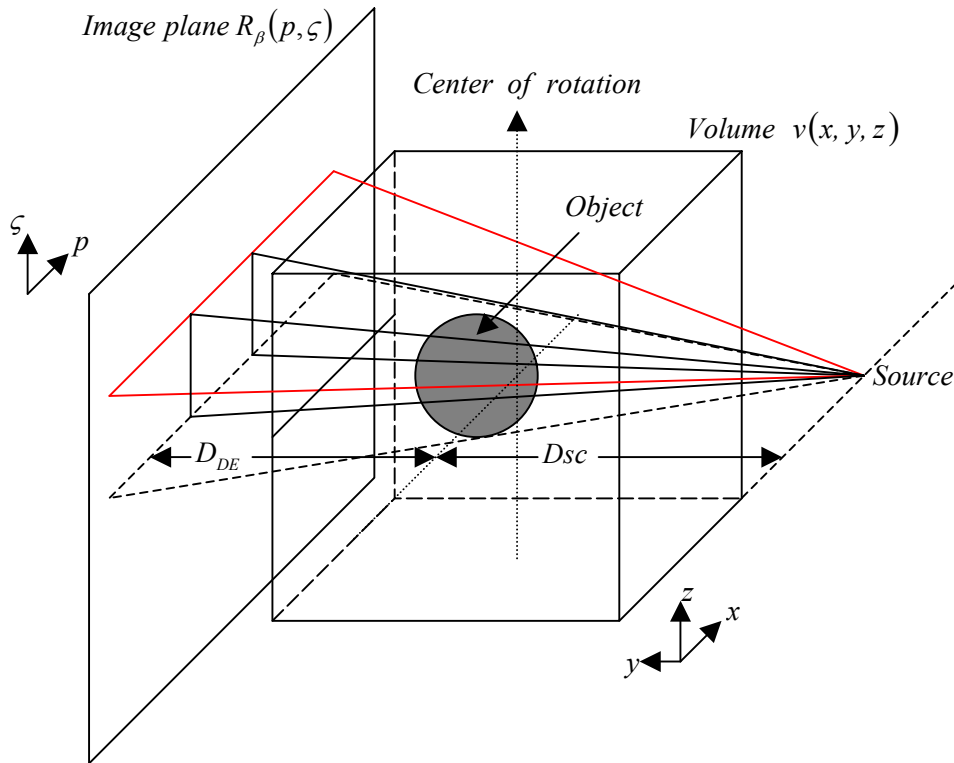
$$f_j^{(k+1)} = f_j^{(k)} + \frac{\sum_i w_{ij\theta} \left[\frac{p_{i\theta} - \sum_{n=1}^N w_{in\theta} f_n^{(k)}}{\sum_{n=1}^N w_{in\theta}} \right]}{\sum_i w_{ij\theta}}$$

- p_i คือข้อมูล โปรเจกชันจริง เส้นที่ i
- f_j คือข้อมูลในเซลล์ที่ j
- w_{ij} คืออัตราส่วนพื้นที่เซลล์ที่ j ที่แสงเส้นที่ i ผ่าน
- k คือจำนวนการทำซ้ำ
- i คือตำแหน่งของเส้นแสง
- j คือตำแหน่งของเซลล์ในภาพ



วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบกรวยโดยใช้วิธีแบบเฟลด์แคมป์



$$R'_{\beta}(p, \zeta) = \frac{D_{sc}}{\sqrt{D_{sc}^2 + p^2 + \zeta^2}} \cdot R_{\beta}(p, \zeta) \quad (8)$$

$$Q_{\beta}(p, \zeta) = R'_{\beta}(p, \zeta) * \frac{1}{2} h(p) \quad (9)$$

$$v(x, y, z) = \int_0^{2\pi} \frac{D_{sc}^2}{(D_{sc} - s)^2} Q_{\beta}(p, \zeta) d\beta \quad (10)$$

Feldkamp (Filtered-Backprojection Conebeam)



หัวข้อที่น่าสนใจ

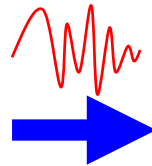
- บทนำ
- วิธีการสร้างภาพตัดขวาง
- **การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์**
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์จริง
- สรุปผลการวิจัย

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

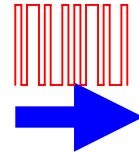
ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์



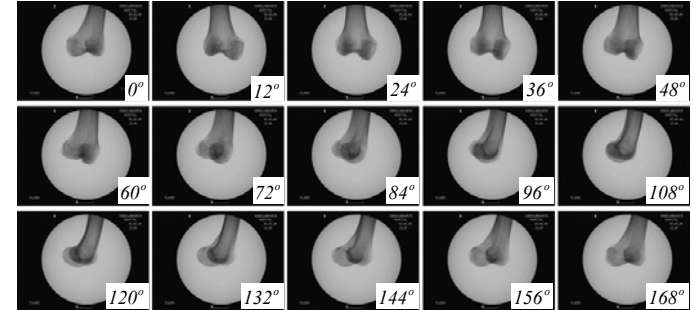
เครื่องถ่ายภาพเอ็กซเรย์
BV29/SMCM



การตรวจจับ
สัญญาณภาพ



คอมพิวเตอร์



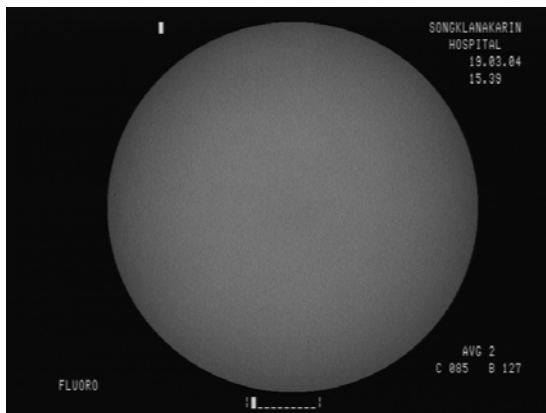
การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

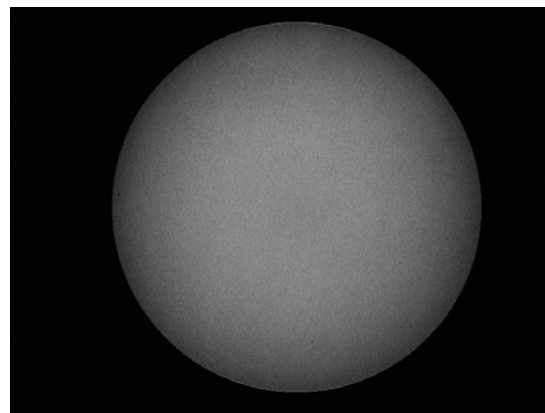


การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

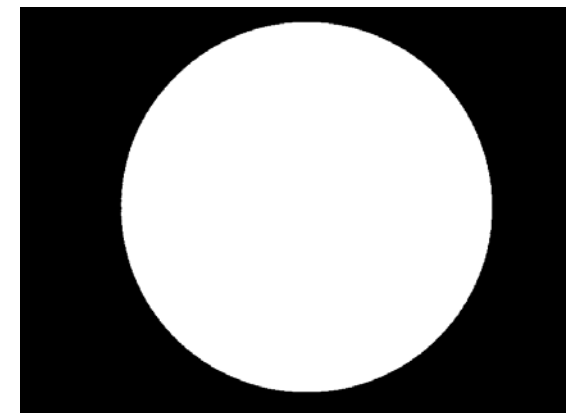
ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์



ภาพถ่ายเอ็กซเรย์
Background



ใช้โปรแกรม Photoshop
ตัดข้อมูลที่ไม่ต้องการ



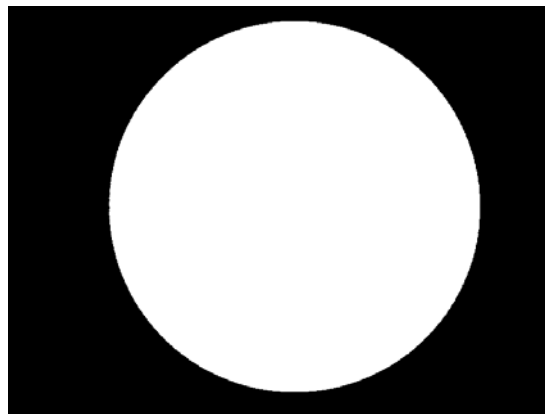
บันทึกเป็นภาพ 2 ระดับสี

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์



AND



=

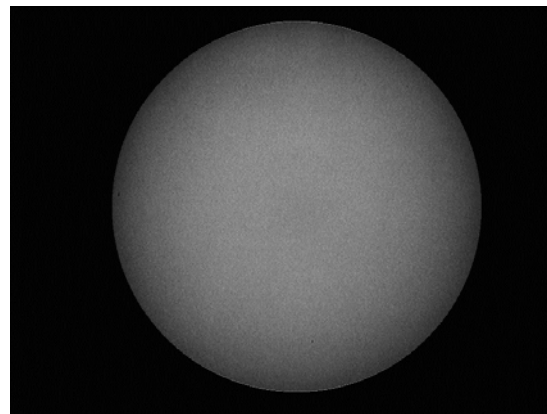


การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์

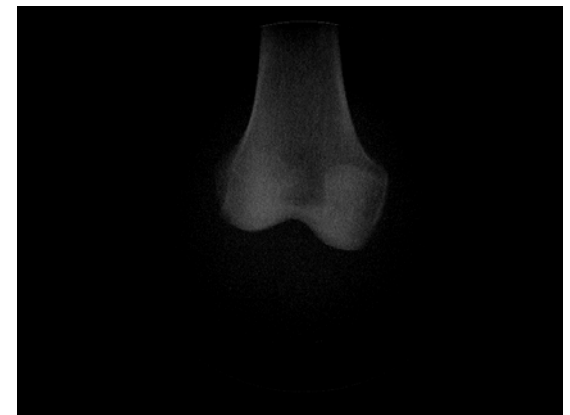
ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซเรย์



-



=





หัวข้อที่น่าสนใจ

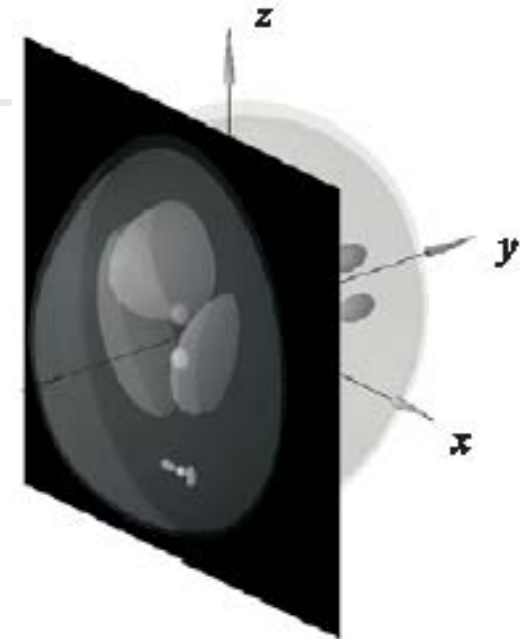
- ความเป็นมาของงานวิจัยและปัญหา
- เส้นทางการแสวงหาแบบต่างๆของชุดข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์
- วิธีการสร้างภาพตัดขวาง
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์จริง
- สรุปผลการวิจัย

การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

แบบจำลอง Phantom แบบ 3 มิติ

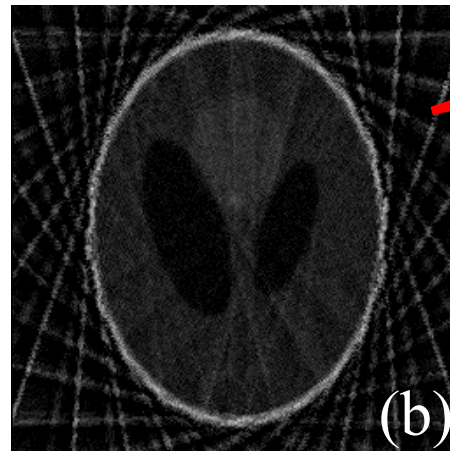
r_x	r_y	r_z	c_x	c_y	c_z	α	ρ
0.69	0.9	0.92	0.0	0.0	0.0	0.0°	2.0
0.6624	0.88	0.874	0.0	0.0	-0.0184	0.0°	-0.98
0.41	0.21	0.16	-0.22	-0.25	0.0	72.0°	-0.02
0.31	0.22	0.11	0.22	-0.25	0.0	-72.0°	-0.02
0.21	0.35	0.25	0.0	-0.25	0.35	0.0°	0.01
0.046	0.046	0.046	0.0	-0.25	0.1	0.0°	0.01
0.046	0.02	0.023	-0.08	-0.25	-0.605	0.0°	0.01
0.046	0.02	0.023	0.06	-0.25	-0.605	90.0°	0.01
0.056	0.1	0.04	0.06	0.625	-0.105	90.0°	0.02
0.056	0.1	0.056	0.0	0.625	0.1	0.0°	-0.02
0.046	0.046	0.046	0.0	-0.25	-0.1	0.0°	0.01
0.023	0.023	0.023	0.0	-0.25	-0.605	0.0°	0.01



การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการสร้างภาพตัดขวาง



Star-artifact

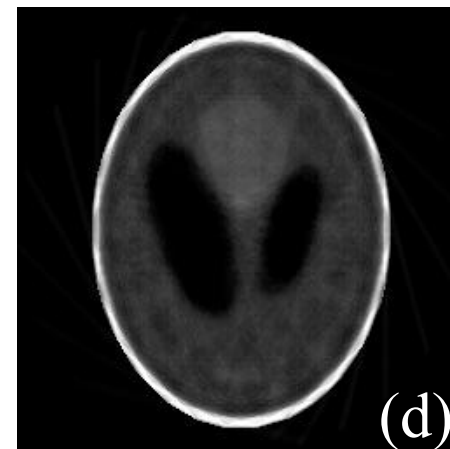
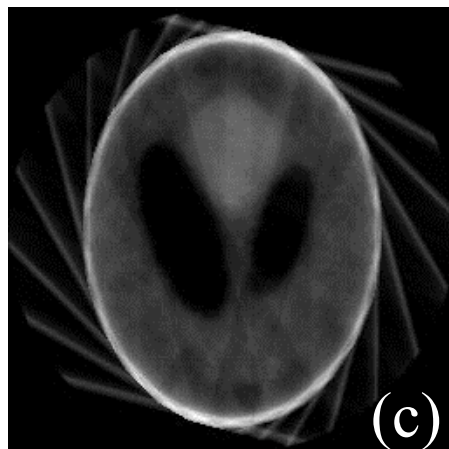
ภาพตัดขวางที่สร้างจากข้อมูล 12
โปรเจกชัน

(a) ภาพต้นฉบับ

(b) Feld-Kamp

(c) SART Cone-beam 1 Iteration

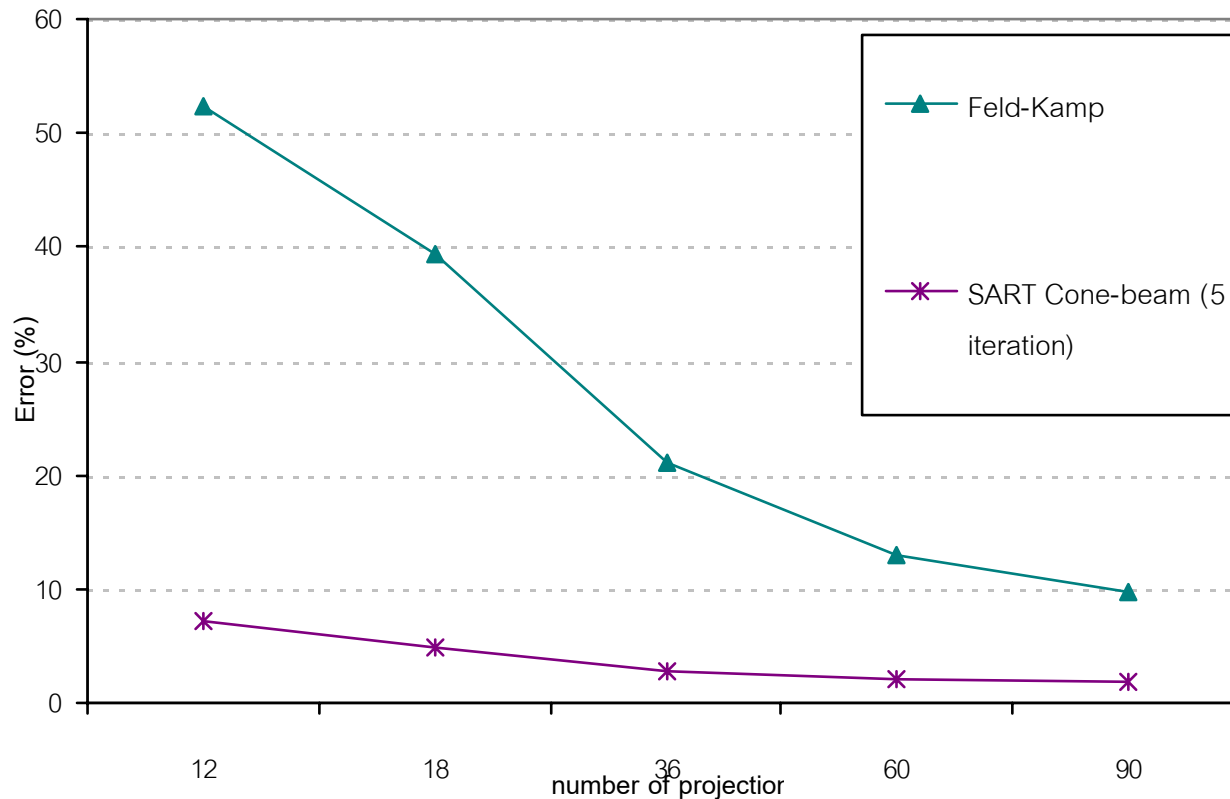
(d) SART Cone-beam 5 Iterations



การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

กราฟเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของภาพตัดขวาง



$$MSE(\%) = \frac{\iint [o(\vec{r}) - o'(\vec{r})]^2 d\vec{r}}{\iint [o(\vec{r})]^2 d\vec{r}} \times 100$$

โดยที่

$o(r)$ เป็นภาพต้นฉบับ

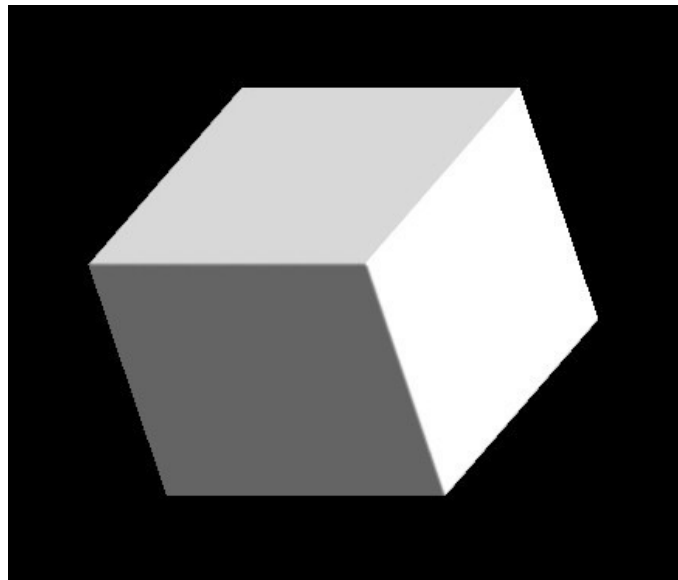
$o'(r)$ เป็นภาพผลลัพธ์

r เป็นขอบเขตที่สนใจ

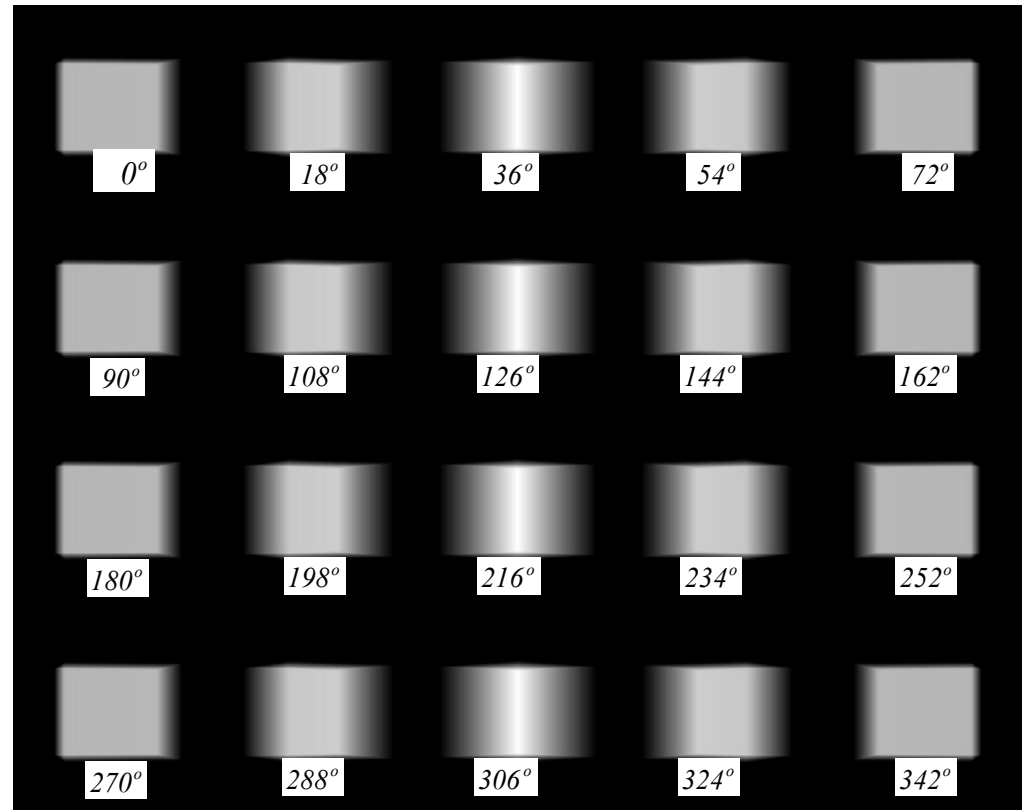
การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

การสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองลูกบาศก์



Square Box volume data
 $256 \times 256 \times 256$ voxels



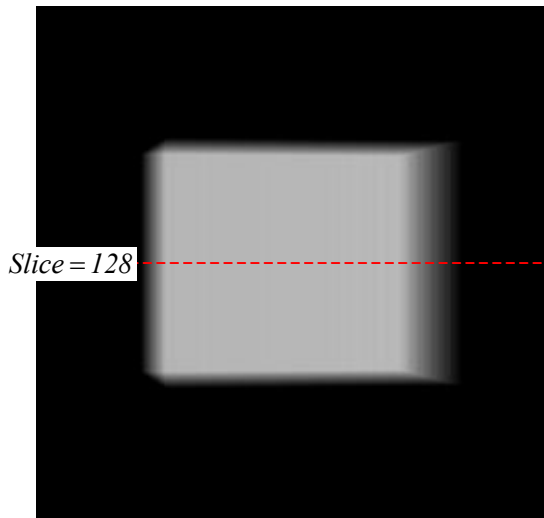
Projection data 60 views
 $D = 1000$ voxels

* เมื่อ D คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดหมุน

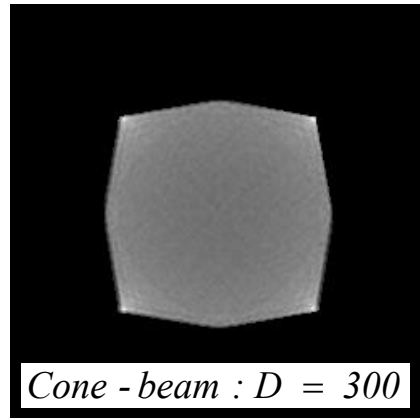
การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

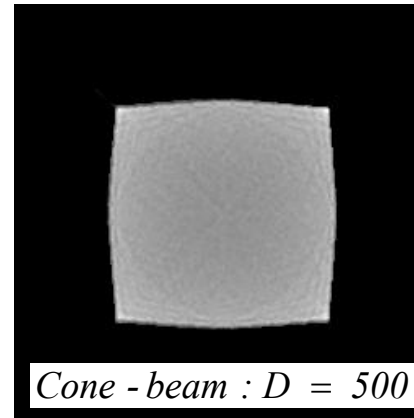
ผลการทดลองการสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธี SART Cone-beam จาก
แบบจำลองลูกบาศก์



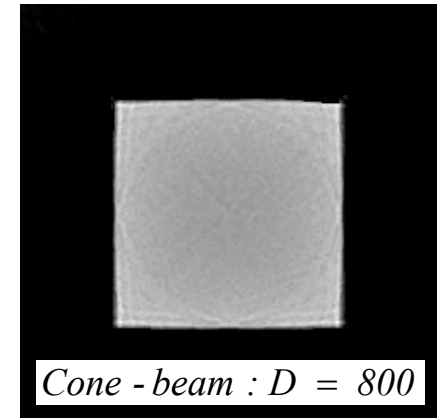
Projection data 60 views
D = 1000 voxels



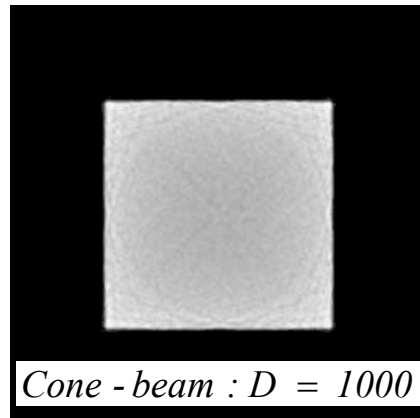
Cone - beam : D = 300



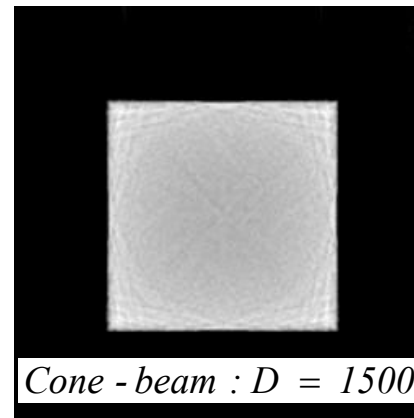
Cone - beam : D = 500



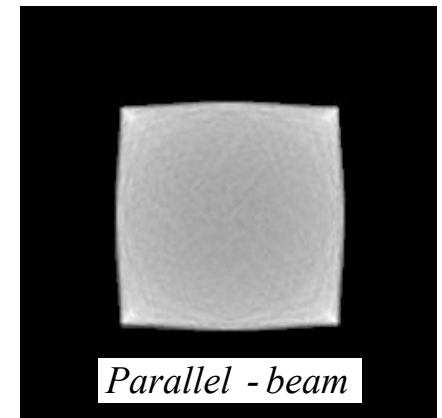
Cone - beam : D = 800



Cone - beam : D = 1000



Cone - beam : D = 1500



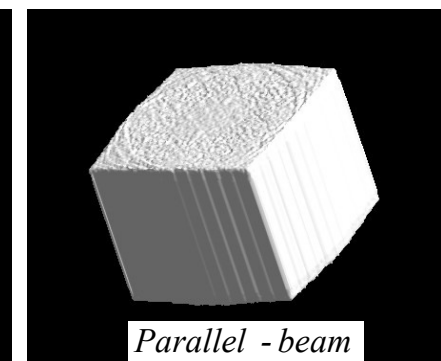
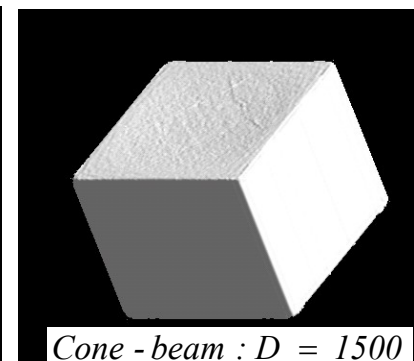
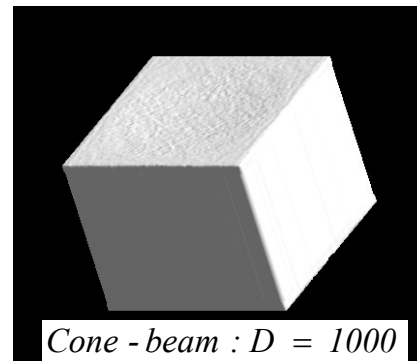
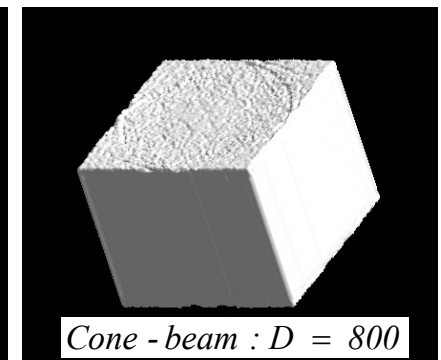
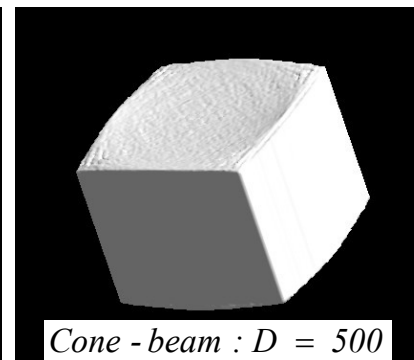
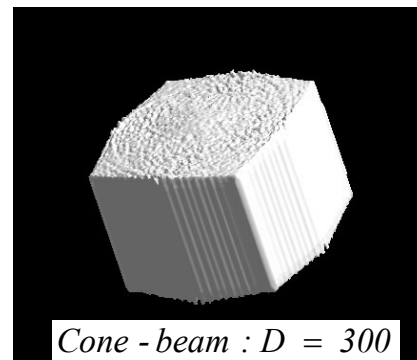
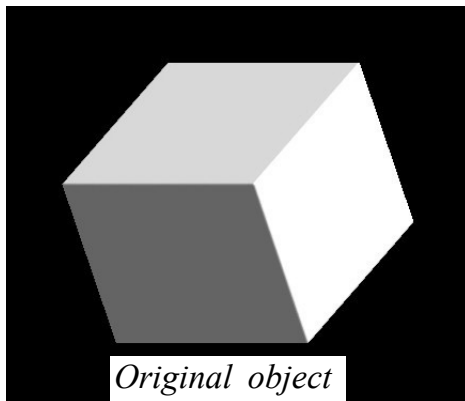
Parallel - beam

* เมื่อ D คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดหมุน

การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์

ภาพเชิงพื้นผิวที่สร้างจากภาพตัดขวางจากวิธี SART Cone-beam





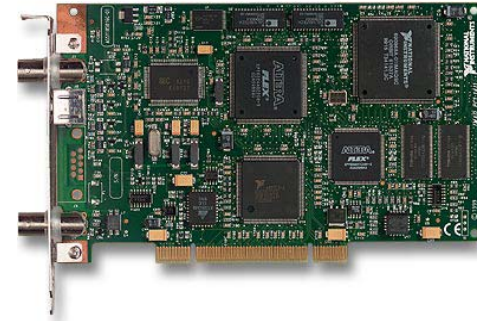
หัวข้อที่นำเสนอ

- ความเป็นมาของงานวิจัยและปัญหา
- เส้นทางการเดินแสงแบบต่างๆของชุดข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์
- ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์จริง
- สรุปผลการวิจัย

การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์



เครื่องถ่ายภาพเอ็กซเรย์



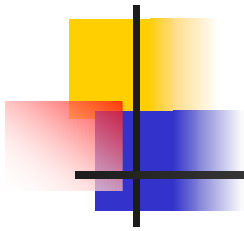
การ์ดตรวจจับสัญญาณภาพ



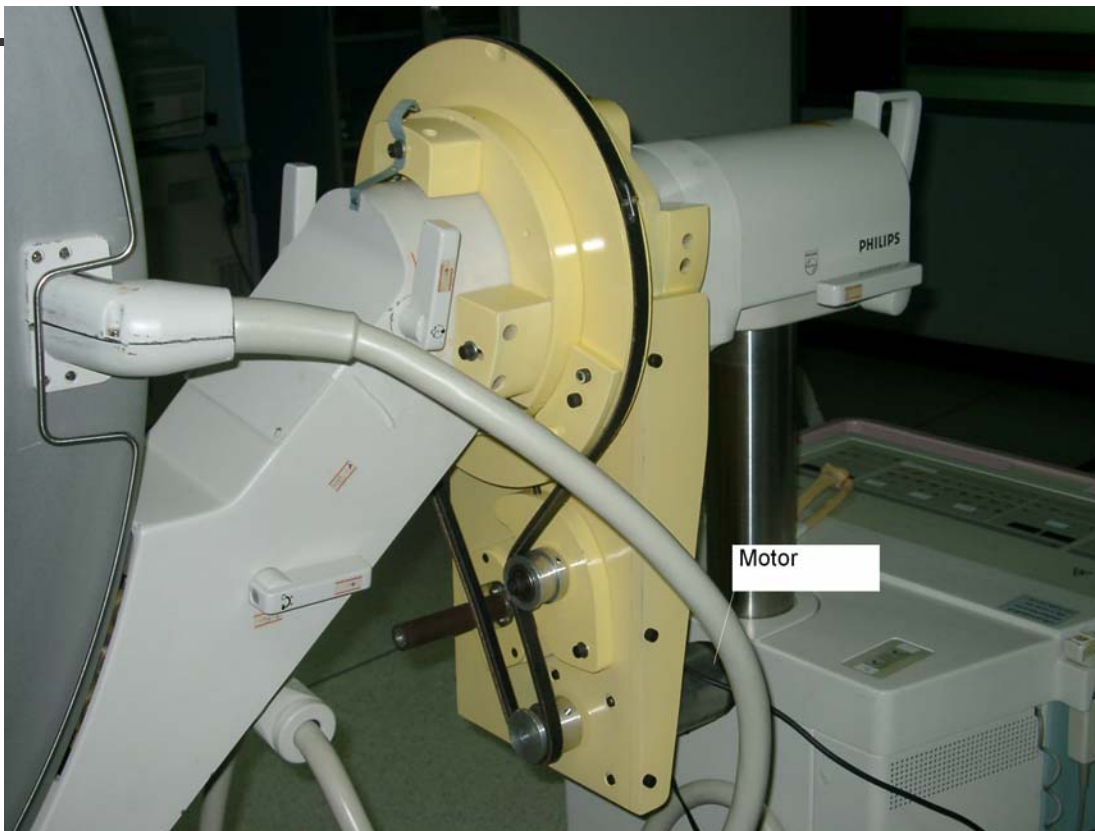
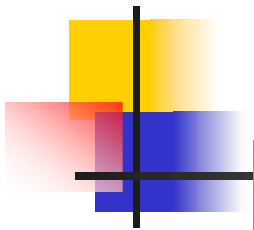
ตัวนับ



คอมพิวเตอร์



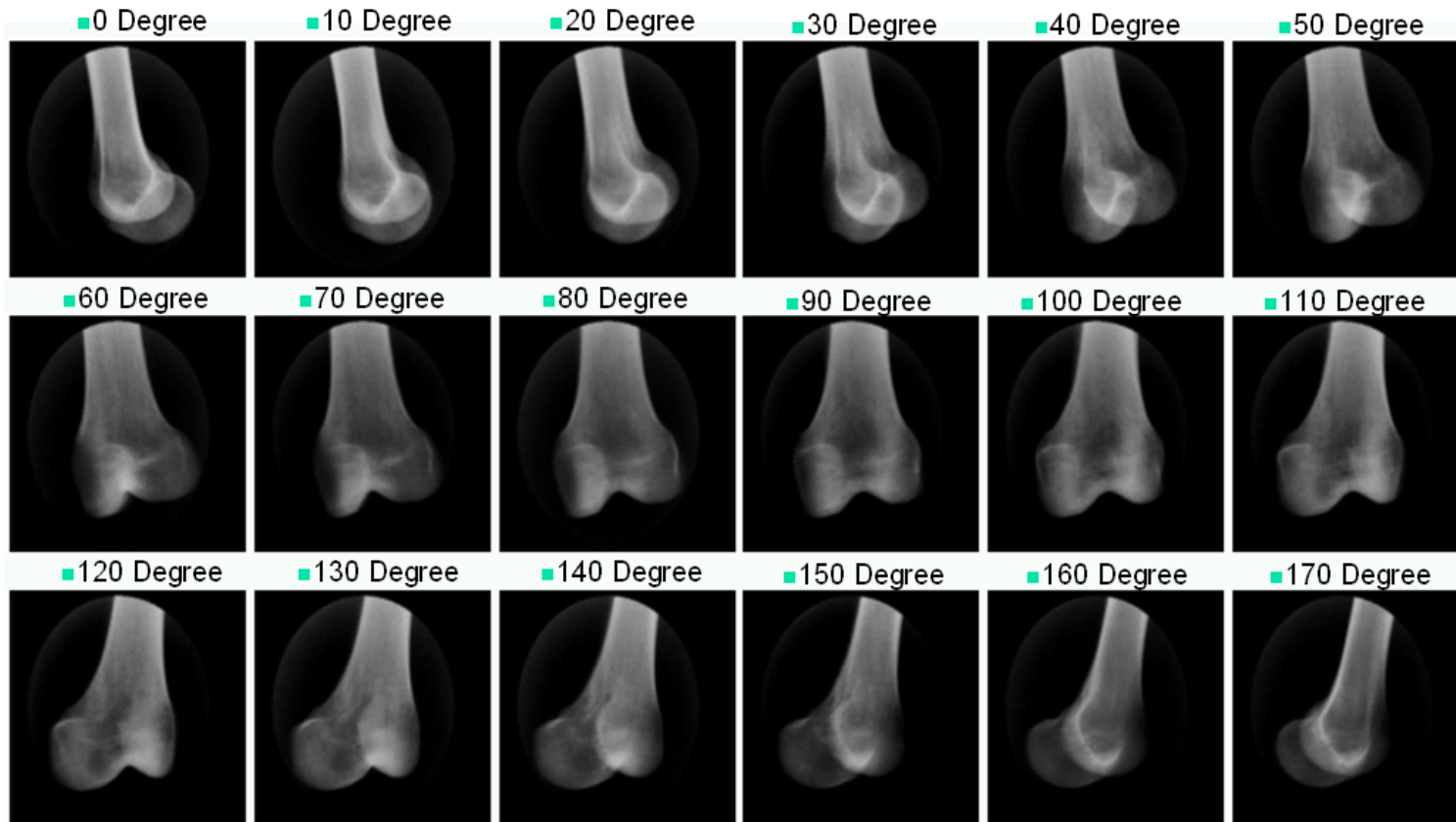
ระบบเก็บภาพจากเครื่องเอ็กซเรย์แบบกึ่งอัตโนมัติ



ระบบเก็บภาพจากเครื่องเอ็กซเรย์แบบอัตโนมัติ

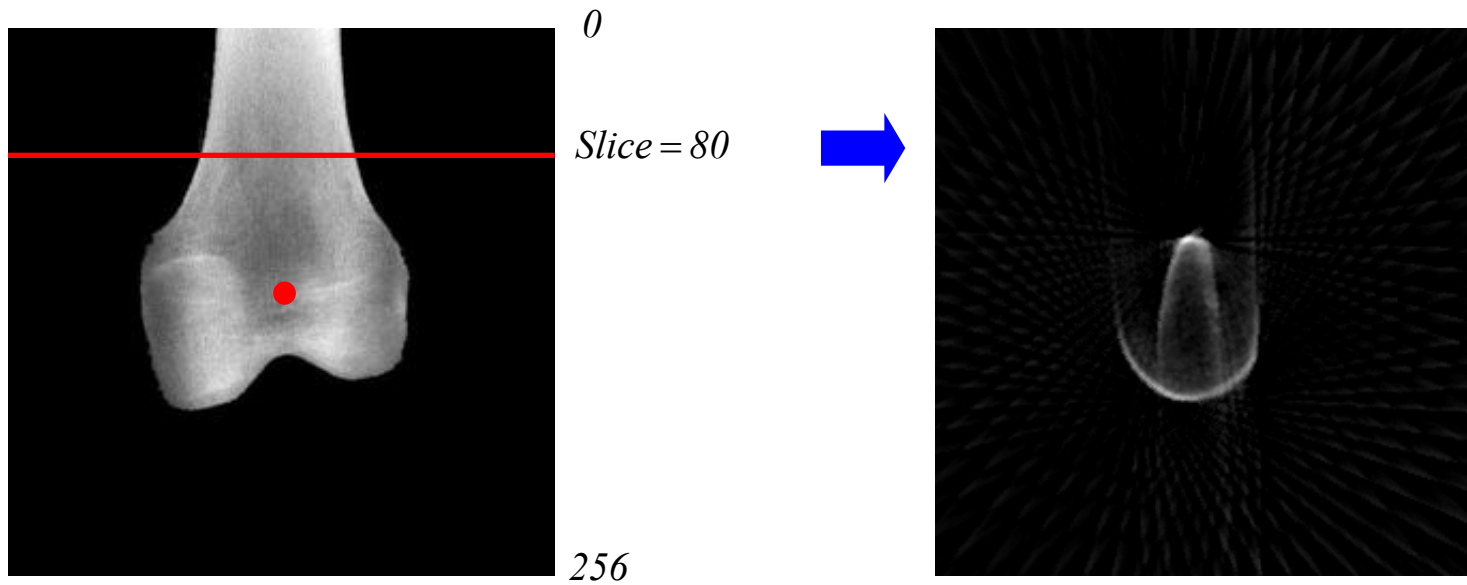
การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซเรย์

ชุดของภาพถ่ายเอ็กซเรย์ของกระดูกหัวเข่า



การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์

การสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์โดยใช้ตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงไม่ถูกต้อง



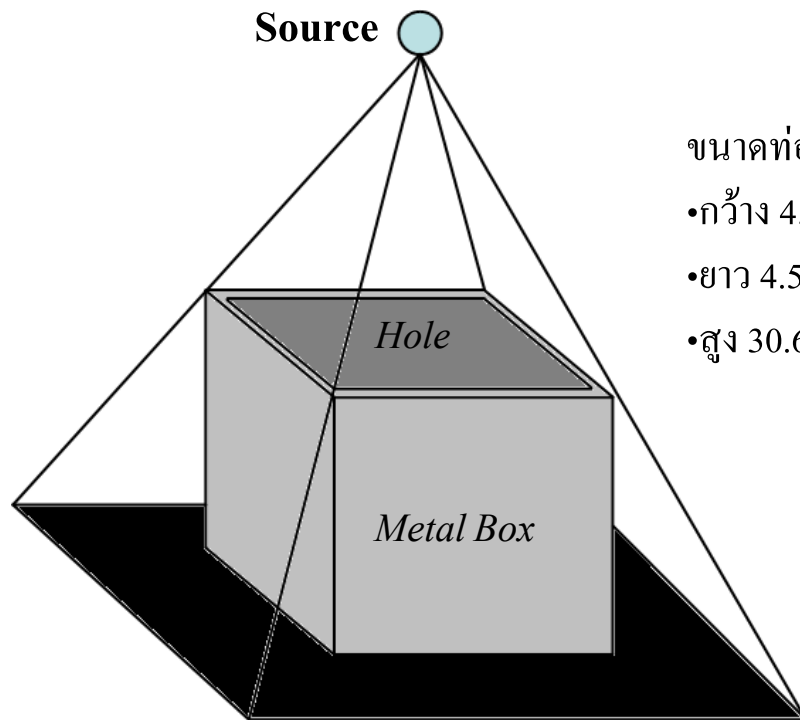
ตัวอย่างภาพเอ็กซ์เรย์ของกระดูก

ผลลัพธ์จากการสร้างภาพตัดขวาง Slice ที่ 80 โดยใช้ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่ถูกต้อง

● คือตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงที่กำหนดเริ่มต้นตรงกึ่งกลางภาพ

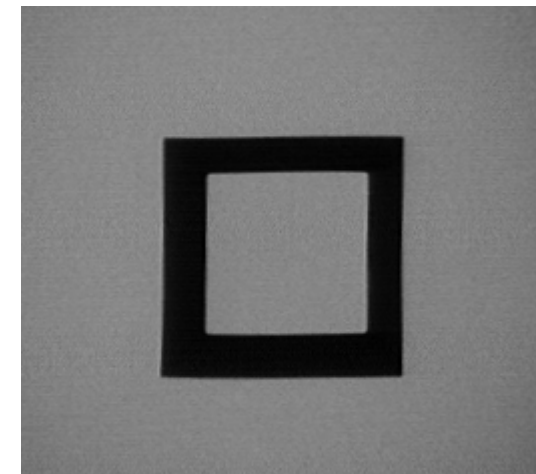
การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์

ภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ของท่อกลองโลหะสี่เหลี่ยมสำหรับการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง



ขนาดท่อ

- กว้าง 4.5 cm
- ยาว 4.5 cm
- สูง 30.6 cm

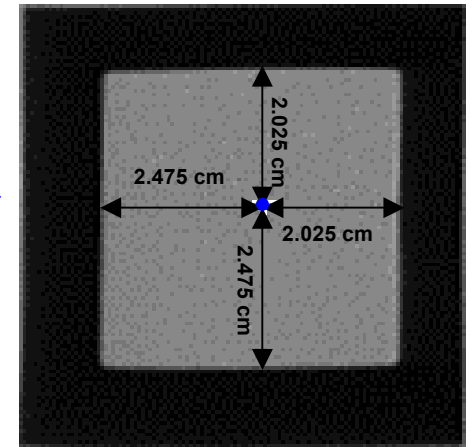
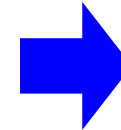
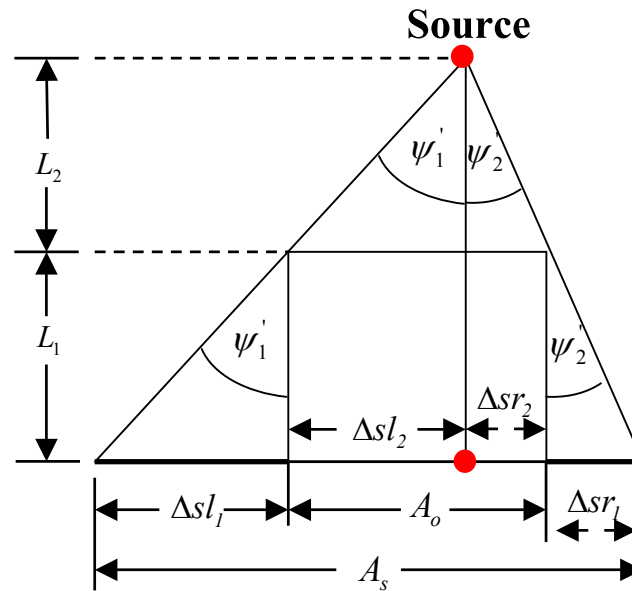
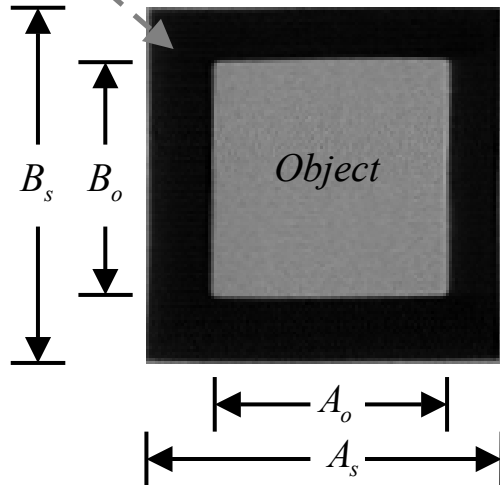


ลักษณะการฉายรังสีเอ็กซ์ผ่านกล่องโลหะ

ข้อมูลภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ของกล่องโลหะ

การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์

Shade



ขนาดท่อ

- กว้าง 4.5 cm
- ยาว 4.5 cm
- สูง 30.6 cm

ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิด
แสงถึงฉากเท่ากับ 91.8 cm

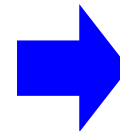
$$\frac{\Delta sl_1}{\Delta sl_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$A_o = 80 \text{ pixels} \Rightarrow A_o = 4.5 \text{ cm}$$

$$A_s = 120 \text{ pixels} \Rightarrow A_s = 6.75 \text{ cm}$$

$$\Delta sl_1 = 22 \text{ pixels} \Rightarrow \Delta sl_1 = 1.2375 \text{ cm}$$

$$\Delta sr_1 = 18 \text{ pixels} \Rightarrow \Delta sr_1 = 1.0125 \text{ cm}$$

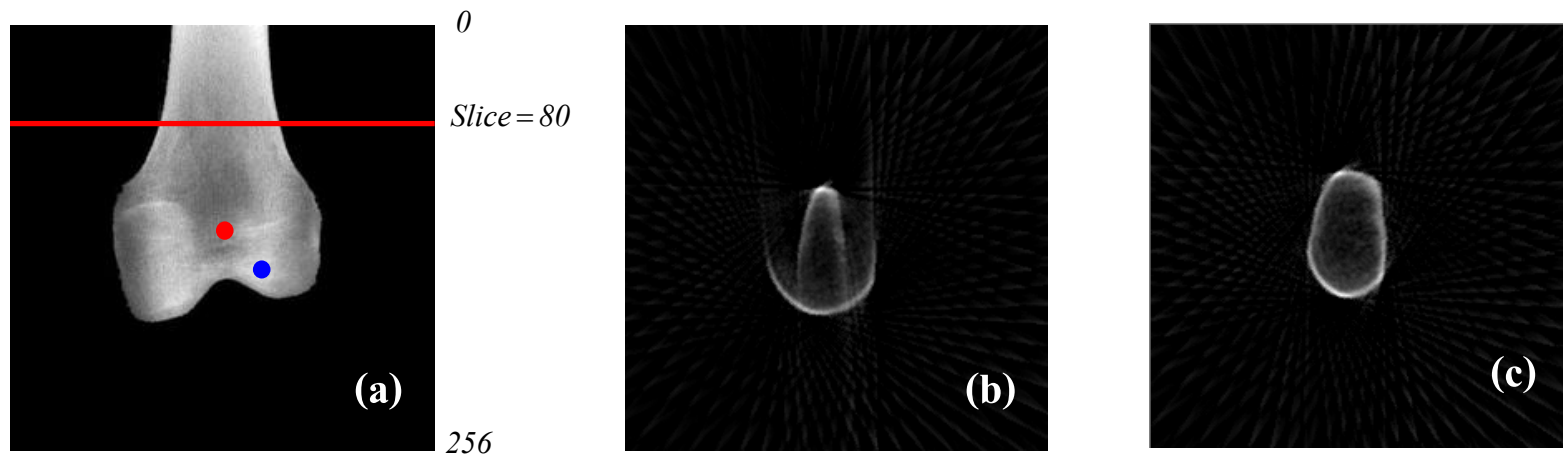


$$\Delta sl_2 = 2.475 \text{ cm} \Rightarrow \Delta sl_2 = 44 \text{ pixels}$$

$$\Delta sr_2 = 2.025 \text{ cm} \Rightarrow \Delta sr_2 = 36 \text{ pixels}$$

การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์

การสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์โดยใช้ตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงไม่ถูกต้อง

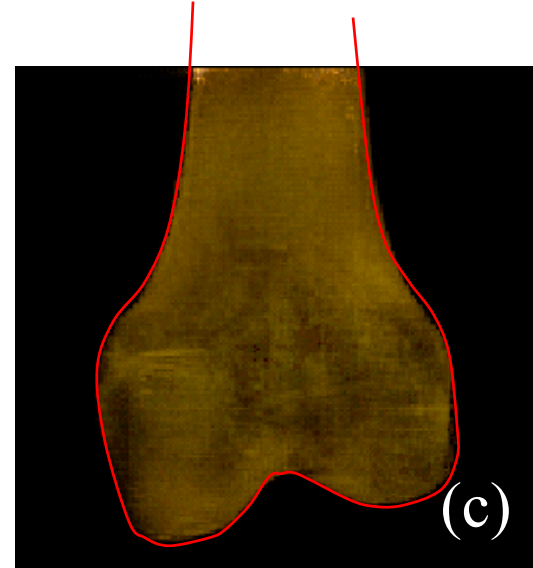
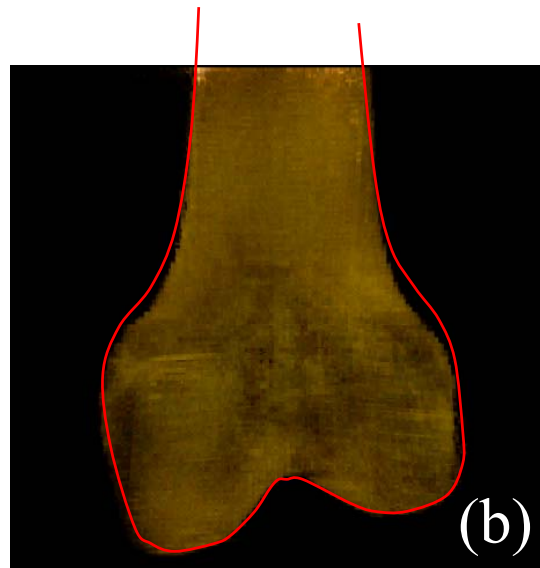
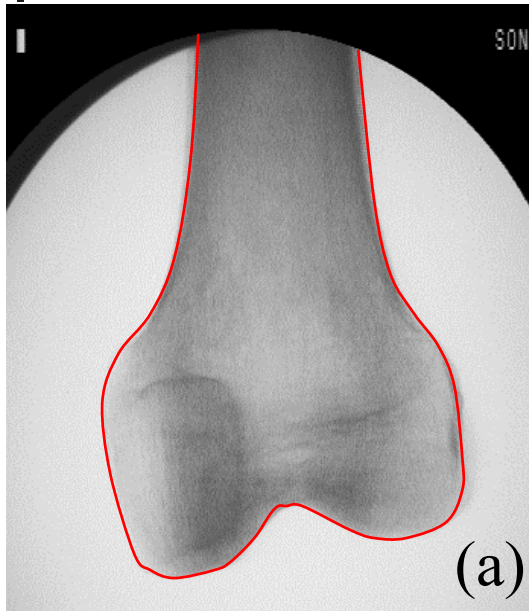


- กำหนดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงไว้กึ่งกลางของภาพ
- ภาพตัดขวางที่สร้างโดยกำหนดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงไว้กึ่งกลางของภาพ
- ภาพตัดขวางที่สร้างโดยกำหนดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงตามที่ได้คำนวณได้

● คือการกำหนดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงไว้กึ่งกลางของภาพ

● คือการกำหนดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงจากการคำนวณ

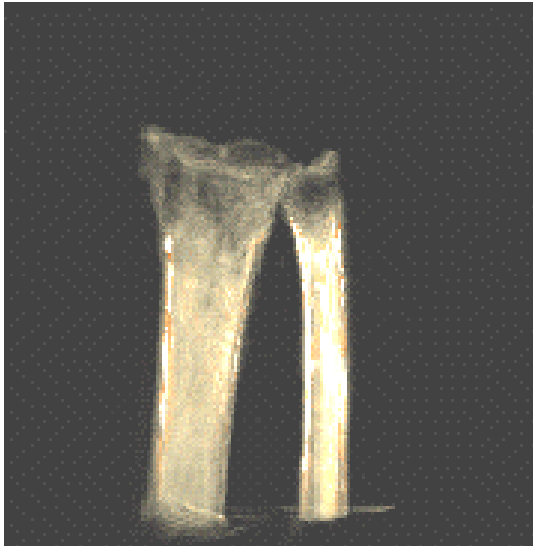
การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์



ภาพเชิงปริมาตรของกระดูกบริเวณหัวเข่าที่สร้างจากข้อมูลภาพตัดขวาง

- a) ภาพฉายเอ็กซ์เรย์
- b) พิจารณาทางเดินแสงเป็นแบบขนาน
- c) พิจารณาทางเดินแสงเป็นแบบกรวย

Result



ก)

ก) ภาพ 3 มิติเชิงปริมาตรของกระดุกส่วนขาที่อ่อนล่าง;



ข)

ข) ภาพ 3 มิติเชิงปริมาตรของกระดุกส่วนเท้า;



ค)

ค) ภาพ 3 มิติเชิงพื้นผิวของกระดุกขาที่หัก



สรุปผลการวิจัย

1. วิธีการสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบกรวยจะช่วยแก้ปัญหารูปทรงของวัตถุให้ถูกต้อง
2. การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสร้างภาพตัดขวางที่ใช้ทางเดินแสงแบบกรวย ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงได้โดยวิเคราะห์จากภาพเอ็กซ์เรย์ของท่อรูปสี่เหลี่ยม



จบการนำเสนอ
