

การประเมินแบบจำลองส่วนอู่เชิงกราน 2 มิติที่สร้างด้วยวิธีการเชิงคณิตศาสตร์

ชนากานต์ อุตตะมะเวทิน ชลธิญา ยะปัญญา วรณรัตน์ ทองปอน รุติพงศ์ แก้วเหล็ก
ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Received: February 19, 2020

Revised: March 24, 2020

Accepted: June 16, 2020

บทคัดย่อ

แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถที่จะแสดงองค์ประกอบของมนุษย์ เช่น กระเพาะปัสสาวะ กระดูกสันหลัง ลำไส้ และอวัยวะในส่วนอู่เชิงกราน วัตถุประสงค์การศึกษาครั้งนี้จึงประเมินแบบจำลองส่วนอู่เชิงกราน 2 มิติที่สร้างด้วยวิธีการเชิงคณิตศาสตร์จำลองจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนช่องท้อง และอู่เชิงกราน (ที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนเอวที่ 3 ถึง กระดูกหัวหน่าว) จำนวน 47 ภาพ แล้วประเมินภาพแบบจำลองกับภาพต้นแบบโดยการวัดค่าโปรไฟล์ ค่าระดับความเข้มเทา ด้วยโปรแกรม ImageJ. ทำการประเมินความคล้ายด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 3 ปี ทำการทดสอบการประมวลผลภาพด้วยการกรองภาพ การแบ่งค่าข้อมูลภาพ และการสร้างภาพใหม่ ผลการทดสอบพบว่ากราฟค่าโปรไฟล์ของแบบจำลองและภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ต้นแบบมีความใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบระดับความเข้มเทาของกล้ามเนื้อ ($p = 0.085$) และ อวัยวะ ($p = 0.972$) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการประเมินความคล้ายด้วยสายตาอยู่ในระดับปานกลางที่ค่าเท่ากับ 1.68 ($p = 0.015$) สรุปได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถประมวลผลด้วยอัลกอริทึมประมวลผลภาพทางการแพทย์ และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลอง หุ่นจำลอง ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ อู่เชิงกราน

ผู้สนับสนุนประสานงาน:

รุติพงศ์ แก้วเหล็ก

ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

เลขที่ 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง

จังหวัดพิษณุโลก 65000

อีเมล: titipongk@nu.ac.th

Evaluation of 2D pelvic model created by mathematical methods

Chanakan Uttamawathin, Chonthiya Yapunya, Wannarat Thongpon, Titipong Kaewlek

Department of Radiological Technology, Faculty of Allied Health Sciences,
Naresuan University

Abstract

The mathematical model represents the human organ such as the urinary bladder, spine, intestine, and organs in the pelvic. This study aimed to evaluate the 2D pelvic model created using mathematical methods. Forty-seven computed tomography (CT) images underwent abdomen-pelvis (at level L3 spine to pubic symphysis) CT examination were simulated. The profile and intensity values of phantom images and reference images were evaluated by ImageJ. Visual inspection was assessed by three independent specialists at least 3 years of experience. The image processing including image filters, image segmentation, and image reconstruction, were also examined. The results revealed that the profile graphs of pelvic phantom and referenced CT images were similar. The comparison of the intensity value of the muscle ($p = 0.085$) and the organ ($p = 0.972$) were not significantly different. The visual inspection score was moderate similarity equal to 1.68 ($p = 0.015$). In conclusion, the simulated phantoms can be processed by medical image processing algorithms and could be developed to use in further research works.

Keywords: model, phantom, computed tomography image, pelvic

Corresponding Author:

Titipong Kaewlek

Department of Radiological Technology,
Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University
99 Moo.9, Tha Pho, Mueang Phitsanulok,
Phitsanulok 65000, Thailand
E-mail: titipongk@nu.ac.th

บทนำ

หุ่นจำลองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสดงแทนร่างกายมนุษย์ สำหรับการศึกษาในทางรังสีการแพทย์และการประมวลผลภาพทางการแพทย์มาเป็นระยะเวลายาวนาน โดยมีการสร้างหุ่นจำลองให้มีความคล้ายกับมนุษย์ ด้วยการออกแบบส่วนประกอบที่ทำจากวัสดุต่างๆ¹ ตามจุดประสงค์ของการใช้งาน หุ่นจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการรักษา หรืองานประเภทอื่นๆ เช่น การถ่ายภาพรังสี การจำลองการตรวจด้วยเครื่องมือด้านรังสีวิทยา เป็นต้น หุ่นจำลองจึงเป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้ในการศึกษามากขึ้น

ปัจจุบันเครื่องมือสร้างภาพทางการแพทย์อาศัยหลักการสร้างภาพด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งทำให้สามารถจะปรับปรุง และแก้ไขข้อมูลภาพได้ด้วยกระบวนการการประมวลผลภาพบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ในหลายเครื่องมือจึงมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยด้านการประมวลผลภาพมากขึ้น ทำให้แบบจำลองถูกนำมาใช้งานในการทดสอบประสิทธิภาพหรือคุณภาพของภาพมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรณีการศึกษาด้วยเครื่องมือที่สร้างภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ การถ่ายภาพกับผู้ป่วยโดยตรงอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงจากรังสี ดังนั้น การใช้หุ่นจำลองที่ทำจากวัสดุต่างๆ¹ หรือแบบจำลองที่จำลองด้วยวิธีการเชิงคณิตศาสตร์นั้นจึงเข้ามาทดแทนการศึกษาในมนุษย์จริงๆ การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์อาศัยความรู้และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในการพัฒนา สามารถสร้างให้มีลักษณะตามที่ต้องการ ใช้งานสะดวก ไม่ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสารเคมีในการสร้าง อีกทั้งประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ เพียงอาศัยการสร้างข้อมูลทางคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเท่านั้น

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีใช้เพื่อการทดสอบอัลกอริทึมในการประมวลผลภาพของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีเพียงส่วนศีรษะ^{2,3} แต่การใช้งานเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันจำเป็นต้องศึกษาส่วนอื่นๆ ของร่างกายด้วย ดังนั้น แบบจำลองร่างกายของอวัยวะส่วนอื่นๆ จะทำให้ผลการศึกษาตรงต่อความต้องการศึกษาในอวัยวะนั้นๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินแบบจำลองอวัยวะเชิงกราน 2 มิติที่สร้างด้วยวิธีการเชิงคณิตศาสตร์

วิธีการศึกษา

การสร้างแบบจำลองอวัยวะเชิงกราน

ออกแบบแบบจำลองให้มีความคล้ายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์อวัยวะเชิงกรานมนุษย์ กำหนดให้มีอวัยวะภายในแบบจำลองประกอบด้วย อวัยวะภายในช่วงระดับร่างกายตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนเอว (Lumbar vertebrae) ที่ 3 จนถึง กระดูกหัวหน่าว (Pubic symphysis) ได้แก่ กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) มดลูก (Uterus) กระดูกสันหลัง (Spine) กระดูกต้นขาส่วนหัว (Head of Femur) กระดูกต้นขาส่วนคอ (Neck of femur) เบ้าหัวกระดูกต้นขา (Acetabulum) ปุ่มกระดูกใหญ่บริเวณต้นขาด้านนอก (Greater trochanter) ไต (Kidney) ไช้สันหลัง (Spinal cord) ลำไส้ใหญ่ (Colon) ลำไส้เล็ก (Intestines) หลอดเลือดแดงใหญ่ (Aorta) หลอดเลือดเวนาคาวาด้านล่าง (Inferior vena cava) กระดูกกระเบนเหน็บ (Sacrum) ไส้ตรง (Rectum) กล้ามเนื้อหลังล่าง (Erector spinae muscle) กล้ามเนื้ออกสะโพก (Psoas muscle) และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Gluteus maximus) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยภาพต้นฉบับเป็นลักษณะภาพตัดขวางจากภาพถ่ายของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพชหญิง ไฟล์ภาพประเภท 8 บิต ขนาดเมทริกซ์ 512×512 พิกเซล (Pixels) นามสกุลของไฟล์คือ .JPG จำนวน 47 ภาพ ใช้สำหรับเป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองในรูปแบบสองมิติในระนาบตัดขวาง



รูปที่ 1 แสดงช่วงข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลสำหรับการจำลอง

การกำหนดค่าตัวเลขเชิงคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง

การกำหนดค่าตัวเลขเชิงคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง จะใช้ข้อมูลตัวเลข 6 แถว โดยแต่ละแถวมีการกำหนดค่า ดังนี้

แถวตอนที่ 1 A) กำหนดค่าความเข้ม (Intensity) ของข้อมูลภาพภายในวัตถุ

แถวตอนที่ 2 a) กำหนดค่าความกว้างของวัตถุ

แถวตอนที่ 3 b) กำหนดค่าความยาวของวัตถุ

แถวตอนที่ 4 x0) กำหนดตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุในแนวแกน X

แถวตอนที่ 5 y0) กำหนดตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุในแนวแกน Y

แถวตอนที่ 6 phi) กำหนดมุมเอียงของรูปทรงเลขาคณิตของวัตถุ

ทำการกำหนดค่าข้อมูลสำหรับการจำลอง โดยค่าดังกล่าวจะแสดงผลตามลักษณะของอวัยวะมีลักษณะคล้ายกับภาพต้นฉบับ ดังแสดงตัวอย่างการจำลองในตารางที่ 1

ทำการกำหนดค่าข้อมูลสำหรับการจำลอง โดยค่าข้อมูลตัวอย่างการจำลองแสดงดังตารางที่ 1 ในตารางแสดงค่าข้อมูลชุดตัวเลขสำหรับนำประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำเช่นนี้ แต่มีการเปลี่ยนข้อมูลตามลักษณะภาพต้นฉบับ ทั้งหมด 47 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปแบบของรูปทรงเลขาคณิตเป็นทรงกลมหรือวงรีตามค่าข้อมูลที่กำหนด โดยใช้วิธีการจำลองของ Shepp-logan²

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าในการจำลองหุ่นส่วนร่างกาย

No.	A	a	b	x0	y0	phi
1	0.4	0.89	0.45	0.03	-0.08	0
2	-0.2	0.88	0.44	0.03	-0.08	0
3	0.8	0.1	0.1	-0.357	0.28	13
4	0.8	0.1	0.1	0.417	0.28	-13
5	0.8	0.018	0.04	-0.45	0.017	-20
...	...	...	...	...	...	...
58	-2	0.015	0.005	0	-0.19	-0.30
58	0.35	0.31	0.06	-0.39	-0.26	-0.22
59	0.35	0.31	0.06	-0.39	-0.26	0.22

การแปลงข้อมูลภาพแบบจำลอง

เมื่อได้ค่าสำหรับการจำลองลักษณะของอวัยวะต่างๆ ตามตารางที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ทำการกำหนดลักษณะภาพแบบจำลองโดยให้มีอวัยวะ

อวัยวะภายในอยู่บนภาพแบบจำลองขนาด 512 x 512 พิกเซล ลักษณะไฟล์ 8 บิต³

จากข้อมูลเชิงตัวเลขในตารางที่ 1 จะแสดงผลออกมาเป็นภาพสองมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพแบบจำลองจากข้อมูลในตารางที่ 1

การวิเคราะห์ความคล้ายของข้อมูลภาพแบบจำลองกับภาพต้นฉบับ

การวิเคราะห์ความคล้ายของข้อมูลภาพ จะทำการศึกษา 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ โดยวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการทดสอบความคล้ายของข้อมูลภาพด้วยการเปรียบเทียบค่าโปรไฟล์เชิงเส้น (Line profile) และค่าความเข้มของภาพ (Image intensity) เปรียบเทียบค่าดังกล่าวระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพแบบจำลอง โดยทำการวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณดำเนินการ ดังนี้

การวัดค่าโปรไฟล์เชิงเส้น

ทำการวัดค่าโปรไฟล์ภาพต้นฉบับ และภาพแบบจำลอง จำนวน 47 ภาพ แนวเส้นโปรไฟล์ในแต่ละภาพวางแนวเส้น 3 ตำแหน่ง คือ ส่วนบน กลาง และล่างของภาพ โดยใช้โปรแกรม ImageJ เวอร์ชัน 1.46r⁴ วัดค่าข้อมูลเส้นโปรไฟล์เพื่อดูการระดับความเข้มเทาของแต่ละพิกเซลที่แนวเส้นลากผ่าน

การวัดการระดับความเข้มเทาของภาพ

การวัดการระดับความเข้มเทาวัด ณ บริเวณพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest : ROI) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรจำนวน 4 จุด คือ พื้นหลัง

กระดูก กล้ามเนื้อ และอวัยวะระหว่างอวัยวะโดย
ใช้โปรแกรม ImageJ เวอร์ชัน 1.46⁴ เพื่อเปรียบเทียบ
ค่าระดับความเข้มเทา ณ บริเวณเดียวกันของทั้งภาพ
ต้นฉบับและภาพแบบจำลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าข้อมูลภาพ มา
คำนวณค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับและแบบจำลอง
ทั้ง 4 จุด แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่า
เฉลี่ยระดับความเข้มเทาของทั้งสองภาพด้วยค่าสถิติ
T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์ภาพเชิงคุณภาพ จะนำข้อมูลภาพ
ต้นฉบับและภาพแบบจำลองทั้งหมด มาประเมินความ
คล้ายของอวัยวะบนภาพต้นฉบับ และแบบจำลอง
ส่วนอวัยวะเปรียบเทียบกันด้วยสายตา โดย
ผู้เชี่ยวชาญที่มีความเชี่ยวชาญด้านกายวิภาคศาสตร์
3 ท่าน มีประสบการณ์อย่างน้อย 3 ปี ใช้เกณฑ์
การประเมินแบบ Likert scale ในการประเมิน
ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

เกณฑ์การประเมิน

ระดับคะแนน 2 หมายถึง แบบจำลองมีความ
คล้ายกับภาพต้นฉบับมากที่สุด

ระดับคะแนน 1 หมายถึง แบบจำลองมีความ
คล้ายกับภาพต้นฉบับปานกลาง

ระดับคะแนน 0 หมายถึง แบบจำลองไม่มี
ความคล้ายกับภาพต้นฉบับ

นำผลการประเมินความคล้ายของแบบจำลอง
ด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านกายวิภาคศาสตร์
มาคำนวณค่าเฉลี่ยคะแนนประเมิน และทดสอบความ
แตกต่างของการให้คะแนนประเมินความคล้ายของ
ผู้เชี่ยวชาญ ด้วยค่าสถิติ Kruskal-Wallis Test กำหนด
ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ($p < 0.05$)

การทดสอบการประมวลผลภาพ (Image processing test)

หลังจากได้ภาพแบบจำลองครบทั้ง 47 ภาพ
แล้ว นำภาพดังกล่าวมาทดสอบการใช้งานด้านการ

ประมวลผลภาพ ด้วย 3 วิธีการ ได้แก่ การกรองภาพ
(Image filtering) การแบ่งข้อมูลภาพ (Image
segmentation) และการสร้างภาพใหม่ (Image
reconstruction) โดยมีรายละเอียดการทดสอบ
ดังนี้

การทดสอบการกรองภาพ

ก่อนทำการทดสอบการกรองภาพ ผู้วิจัยจะ
ใส่สิ่งรบกวน (Noise) เพื่อจำลองการเกิดสิ่งรบกวน
บนภาพของแบบจำลอง โดยมีลักษณะตามแบบของ
Gaussian noise⁵ ตามค่าข้อมูลพารามิเตอร์ ดังนี้
ค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวน
(Variance) เท่ากับ 0.01 ซึ่งค่าเหล่านี้จะทำให้เกิดจุด
สิ่งรบกวนบนภาพที่มีลักษณะเป็นจุดขาวกระจายทั่ว
ทั้งภาพ หลังจากนั้นทำการทดสอบการกรองภาพ ด้วย
วิธีการกรองภาพ เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองสามารถ
จำลองสถานการณ์ในการลดสิ่งรบกวนบนภาพ⁶

การทดสอบการแบ่งข้อมูลภาพ

นำภาพแบบจำลองมาประมวลผลด้วยวิธีการ
การแบ่งข้อมูลภาพ โดยการทดสอบครั้งนี้เลือกการ
แบ่งข้อมูลภาพที่จะใช้ในการทดสอบ 2 วิธีการ ดังนี้

1. การแบ่งข้อมูลภาพ ตามวิธีการ
Thresholding⁷ ทำการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 2
กลุ่มข้อมูล ด้วยวิธีการของ Otsu⁷ ลักษณะข้อมูล
แบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เป็นลักษณะ
สีขาว และดำ

2. การแบ่งข้อมูลภาพโดยใช้ Multilevel
Thresholding⁸ โดยกำหนดค่าจำนวนหลายกลุ่ม
ข้อมูลภาพ ซึ่งในการศึกษานี้กำหนดให้มีค่าจำนวน
กลุ่ม $n = 10$ โดยค่า n เป็นตัวกำหนดจำนวนกลุ่ม
ที่ทำการแบ่งค่าระดับข้อมูล หลังจากนั้นกำหนดให้
แปลงจากภาพระดับความเข้มเทา (Grayscale image)
ให้เป็นภาพที่เก็บค่าสีเป็นลักษณะ indexed (Indexed
image) แยกสีสันตามระดับค่าข้อมูล

การทดสอบการสร้างภาพใหม่

การทดสอบการสร้างภาพใหม่จะนำภาพ
แบบจำลองทั้ง 47 ภาพในลักษณะภาพสองมิติ หรือ

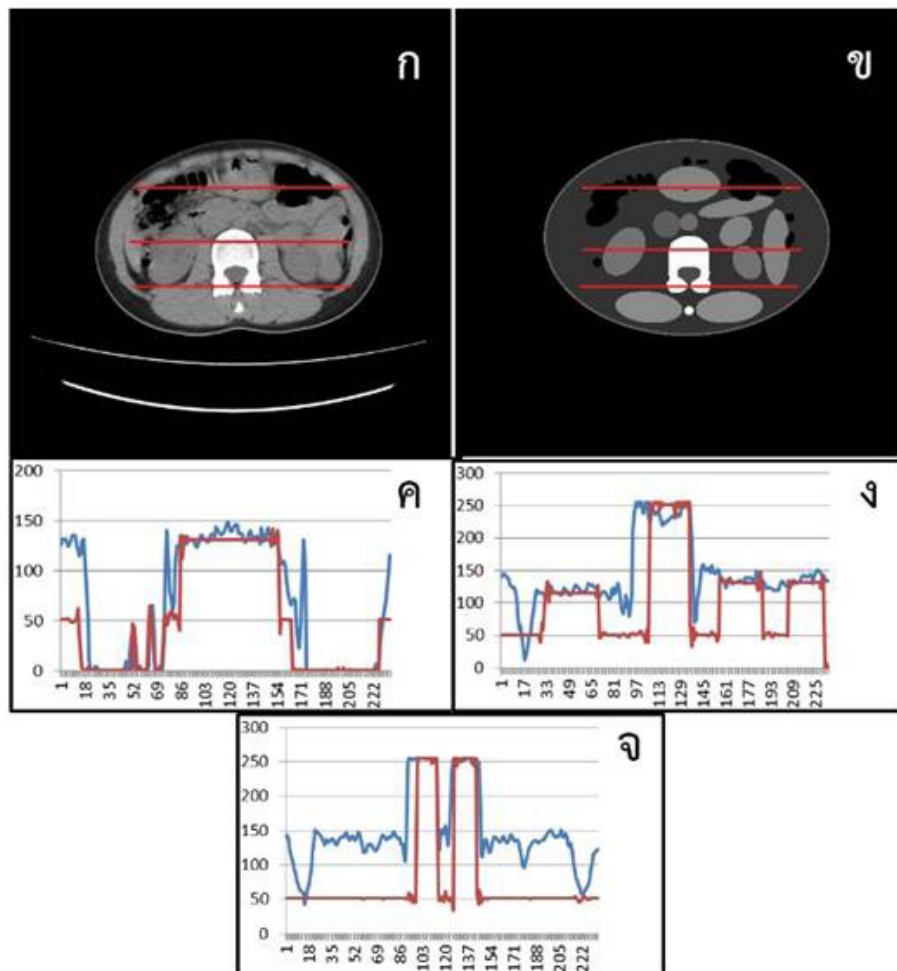
แนวตัดขวาง (Axial plane) ตามลักษณะเดียวกับภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ทำการประมวลผลด้วยการสร้างภาพใหม่ให้เป็นภาพแนวการแบ่งด้านซ้ายขวา (Sagittal plane) และแนวหน้าหลัง (Coronal plane) ลักษณะเป็นข้อมูลภาพสามมิติ

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ภาพเชิงปริมาณ ประกอบด้วยผลดังนี้

ผลการวัดค่าโปรไฟล์เชิงเส้น

จากการทดสอบผลการวัดค่าข้อมูลโปรไฟล์เชิงเส้นแสดงดังรูปที่ 3 ในรูป 3 (ก) แสดงภาพต้นฉบับและแนวเส้นโปรไฟล์ 3 (ข) แสดงภาพแบบจำลอง ณ บริเวณเดียวกันและแนวเส้นโปรไฟล์ รูป 3 (ค ง และ จ) แสดงค่าข้อมูลจากการวัดค่าระดับความเข้มเทา ณ บริเวณส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของภาพ ตามที่แสดงในภาพ 3 (ก และ ข)



รูปที่ 3 แสดงแนวการวางเส้นโปรไฟล์บนภาพต้นฉบับ (ก) และภาพแบบจำลอง (ข) และผลการเปรียบเทียบค่าโปรไฟล์เชิงเส้น ส่วนบน (ค) ส่วนกลาง (ง) และส่วนล่าง (จ) ของภาพต้นฉบับ (เส้นสีน้ำเงิน) และภาพแบบจำลอง (เส้นสีแดง)

ผลการวัดค่าระดับความเข้มเทาของภาพ
ผลการวัดค่าระดับความเข้มของภาพ

เปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพแบบจำลอง
ทั้ง 47 ภาพ แสดงค่าเฉลี่ยดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยค่าระดับความเข้มเทาของภาพทั้ง 47 ภาพ ที่บริเวณพื้นหลัง กระดูก กล้ามเนื้อ และอวัยวะระหว่างอุ้งเชิงกราน

บริเวณที่วัดค่า	ภาพต้นฉบับ	ภาพแบบจำลอง	p-value
พื้นหลังของภาพ	0	0	*N/A
กระดูก	250.58±5.92	254.73±0.74	0.000
กล้ามเนื้อ	139.81±2.24	139.01±2.24	0.085
อวัยวะในอุ้งเชิงกราน	115.49±27.54	115.29±27.55	0.972

* คือ ไม่สามารถคำนวณทางสถิติได้

ผลการวิเคราะห์ภาพเชิงคุณภาพ

ผลการเปรียบเทียบความคล้ายของอวัยวะบนภาพต้นฉบับกับภาพแบบจำลอง โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง

3 ท่าน พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.68 และผลประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านแสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความคล้ายของอวัยวะของภาพต้นฉบับเทียบกับภาพแบบจำลอง

ผู้ประเมิน	ค่าเฉลี่ยรายคน
1	1.70
2	1.79
3	1.55
ค่าเฉลี่ยรวม	1.68±0.12

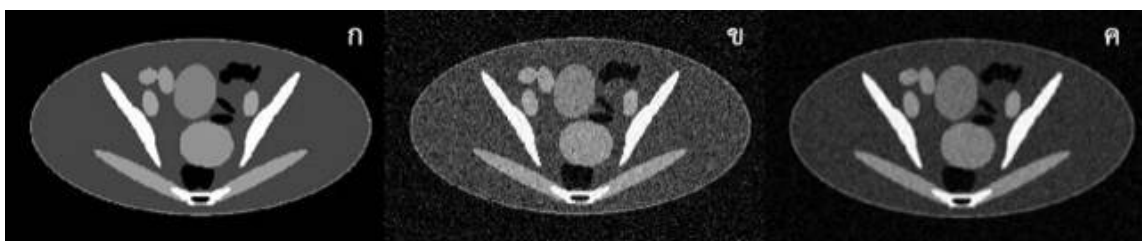
ผลประเมินของผู้เชี่ยวชาญทุกคน มีคะแนนประเมินความคล้ายของแบบจำลองกับภาพต้นฉบับอยู่ในระดับปานกลาง ($P = 0.015$)

ผลการทดสอบการประมวลผลภาพ

ผลการทดสอบการกรองภาพ

ผลการทดสอบการเพิ่มสิ่งรบกวนบนภาพ

แบบจำลอง ทำให้เกิดจุดขาวดำบนภาพ ลักษณะของสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นคล้ายกับภาพสิ่งรบกวนบนภาพถ่ายจากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และเมื่อทำการลดสิ่งรบกวนผลลัพธ์ที่ได้คือสิ่งรบกวนบนภาพแบบจำลองลดลงและเห็นขอบเขตวัตถุภายในภาพได้ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 (ก) แสดงภาพแบบจำลอง (ข) ผลแสดงการเพิ่มสิ่งรบกวนบนภาพ และ (ค) แสดงผลการใช้การลดสิ่งรบกวน

ผลการทดสอบการแบ่งข้อมูลภาพ

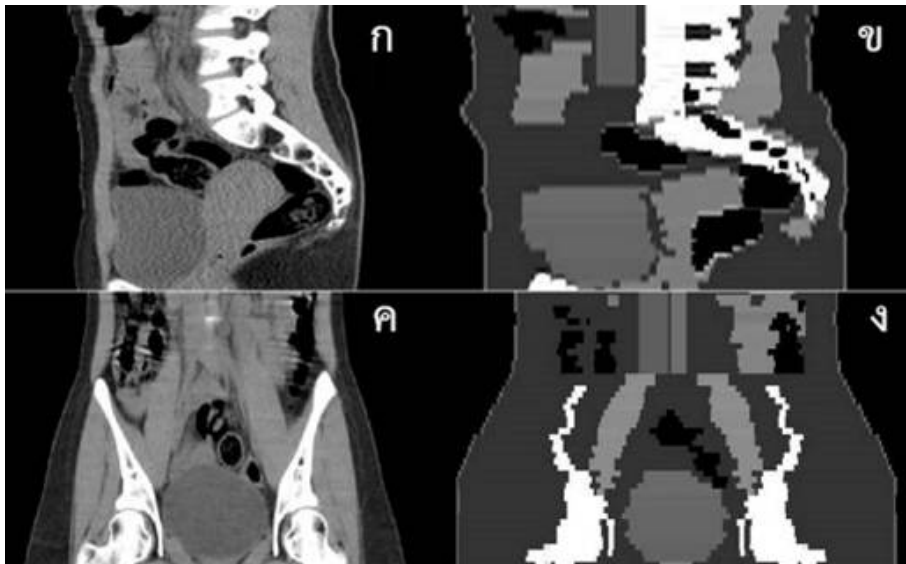


รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบการแบ่งข้อมูลภาพตามระดับความเข้ม (ก) แสดงภาพแบบจำลอง (ข) แสดงภาพแบ่งด้วยค่าข้อมูลเดียว (ค) แสดงภาพแบ่งด้วยค่าข้อมูลแบบหลายระดับ

ผลการทดสอบการแบ่งข้อมูลภาพด้วยวิธีการแบ่งค่าข้อมูลเพียงค่าเดียว ด้วยวิธีการของ Otsu (รูปที่ 5 ข) แสดงให้เห็นการแบ่งข้อมูลภาพเป็นสองระดับสี คือสีขาว และสีดำ บริเวณสีขาวเป็นบริเวณที่มีค่าข้อมูลภาพมากกว่าค่าที่อัลกอริทึมคำนวณ และในทางกลับกัน สีดำคือบริเวณที่มีค่าข้อมูลบนภาพต่ำกว่าค่าที่อัลกอริทึมคำนวณได้

ผลการแบ่งข้อมูลภาพแบบการแบ่งค่าข้อมูลหลายระดับ ผลที่ได้มีการแบ่งค่าข้อมูลของภาพเป็นไปตามจำนวนที่แบ่ง คือ มีการแบ่งกลุ่มระดับสีเป็น 10 กลุ่มสี (รูปที่ 5 ค) สามารถระบุสีที่แตกต่างกันได้ เช่น บริเวณพื้นหลัง (สีน้ำเงิน) กล้ามเนื้อ (สีเขียว) กระดูก (สีน้ำตาล) และลำไส้ (สีแดง) เป็นต้น

ผลการทดสอบการสร้างภาพใหม่



รูปที่ 6 ภาพแบบจำลองอั้งเชิงกรานของการสร้างภาพใหม่ในภาพ (ด้านบน) (ก) เป็นภาพต้นฉบับ และ (ข) แบบจำลองตามแนวแบ่งซ้าย-ขวา (Sagittal) และ ภาพ (ด้านล่าง) (ค) ภาพต้นฉบับ และ (ง) แบบจำลองตามแนวแบ่งหน้า-หลัง (Coronal)

ผลการสร้างภาพใหม่จากการนำภาพแบบจำลองทั้ง 47 ภาพ ที่มีลักษณะสองมิติมาเรียงลำดับต่อกันตามภาพต้นฉบับ แล้วแปลงให้เป็นภาพตามแนวซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง ลักษณะภาพสามารถเห็นรายละเอียดของอวัยวะภายในได้ใกล้เคียงกับการจัดเรียงของอวัยวะของมนุษย์ในภาพต้นฉบับ บางส่วนอาจไม่ต่อเนื่องเกิดจากการกำหนดค่าข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 6 ให้เห็นรายละเอียดของอวัยวะคล้ายกับภาพต้นฉบับทั้งในแนวซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้อาศัยหลักการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ตามหลักการของ Shepp และ Logan² ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยด้านการสร้างภาพทางการแพทย์ การประมวลผลภาพดิจิทัล^{10,12} และยังสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยลักษณะอื่นๆ ได้อีกด้วย^{13,16}

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบแบบจำลองที่ได้จากการจำลอง โดยการวัดค่าข้อมูลภาพทั้งเชิงปริมาณ (ค่าโปรไฟล์ และค่าระดับความเข้มเทา) และเชิงคุณภาพ (การประเมินความคล้ายของข้อมูลภาพด้วยสายตา) จากผลทำให้พบว่าค่าข้อมูลภาพที่บริเวณกล้ามเนื้อ พื้นหลัง อวัยวะในอุ้งเชิงกราน และกระดูก ของภาพแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ โดยค่าที่วัดค่าโปรไฟล์ทั้งเส้นบน กลาง และล่าง บริเวณที่มีการจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งแนวแกน X และ Y แต่พบว่าในส่วนของเส้นโปรไฟล์เส้นบนของแบบจำลองมีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมากกว่าเมื่อเทียบกับแนวเส้นระดับอื่นๆ โดยมีความแตกต่างในระดับแนวเส้นนี้ถึง 32 ภาพ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการจำลองข้อมูลแบบจำลองบริเวณด้านบนของภาพไม่สามารถจำลองอวัยวะได้ครบทุกส่วนตามลักษณะจริงของภาพต้นฉบับ เมื่อลากแนวเส้นผ่านบริเวณนี้ค่าข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันกับภาพต้นฉบับ

จากผลการประเมินความคล้ายของแบบจำลองด้วยสายตา โดยผู้เชี่ยวชาญด้านกายวิภาคศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน ผลที่ได้จากการประเมิน พบว่าแบบจำลองมีความใกล้เคียงอยู่ในระดับปานกลาง การประเมินความคล้ายของแบบจำลองผู้ประเมินมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเกิดจากประสบการณ์ และมีความเข้าใจในเรื่องลักษณะการแบ่งระดับความคล้ายไม่ตรงกัน ซึ่งส่งผลต่อคะแนนการประเมินภาพ โดยเฉพาะอวัยวะส่วนของลำไส้ที่มีค่าระดับสีที่ใกล้เคียงกับกล้ามเนื้อ และมีรูปร่างแตกต่างจากภาพต้นฉบับ และการจำลองไม่สามารถจำลองอวัยวะบางส่วนได้

ผลการทดสอบการใช้งานแบบจำลองด้วยวิธีการประมวลผลภาพแบบต่างๆ คือ วิธีการกรองภาพ การแบ่งข้อมูลภาพ และการสร้างภาพใหม่ ในแนวซ้าย-ขวา และ หน้า-หลัง ภาพแบบจำลองสามารถใช้ในการทดสอบประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึมได้คล้ายลักษณะภาพต้นฉบับ โดยพบว่าผลของการทดสอบวิธีการกรองภาพ แบบจำลองสามารถเพิ่มและลดสิ่งรบกวนได้

เมื่อทดสอบการแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพ พบว่าแบบจำลองสามารถแบ่งค่าข้อมูลตามที่กำหนดได้ทั้งแบบค่าระดับสีเดียว และหลายระดับค่าสี และเมื่อนำข้อมูลภาพทั้งหมดไปทำการสร้างภาพใหม่สามารถแสดงลักษณะภาพคล้ายภาพต้นฉบับทั้งแนวซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองมีข้อจำกัดคือสามารถสร้างรูปทรงได้เพียงรูปแบบทรงกลมและวงรีเท่านั้น ไม่สามารถสร้างรูปทรงที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมได้

2. การใส่ค่าพารามิเตอร์ระดับความเข้มเทาสามารถใส่ค่าระดับความเข้มเทาได้เพียงค่าเดียวต่อรูปทรงของอวัยวะหนึ่งๆ ทำให้ภาพที่ได้จากการจำลอง

มีพื้นผิวลักษณะความเข้มเดียวกัน ดังนั้น จึงไม่สามารถสร้างพื้นผิวที่มีลักษณะความเข้มสูง และความเข้มต่ำในอวัยวะหนึ่งได้เหมือนภาพต้นฉบับ ซึ่งทำให้ค่าระดับความเข้มเทาที่วัดได้จากแบบจำลองแตกต่างกันจากต้นฉบับเล็กน้อย และยังเห็นความแตกต่างของพื้นผิวทั้งสองได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงใส่ค่าพารามิเตอร์ระดับความเข้มเทาและวัดค่าข้อมูลความเข้มเทาของแบบจำลองให้ได้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับ

3. การนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปใช้พัฒนาแบบจำลอง ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของค่าระดับความเข้มเทา (Intensity : A ในตารางที่ 1) ของอวัยวะต่างๆ ดังนี้ ค่า A ของกล้ามเนื้อเท่ากับ 0.35 (ค่าระดับความเข้มเทาเท่ากับ 139) ค่า A ของอวัยวะในอุ้งเชิงกรานเท่ากับ 0.25 (ค่าระดับความเข้มเทาเท่ากับ 115) และค่า A ของกระดูกเท่ากับ 0.8 (ค่าระดับความเข้มเทาเท่ากับ 255)

สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้จำลองภาพแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ส่วนอุ้งเชิงกราน ได้ข้อมูลภาพแบบจำลองส่วนอุ้งเชิงกรานผู้หญิงทั้งหมด 47 ภาพ เมื่อเปรียบเทียบภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ต้นฉบับกับภาพแบบจำลองพบว่า การทดสอบวัดค่าข้อมูลภาพมีค่าใกล้เคียงกัน การประเมินทางด้านกายวิภาคศาสตร์ด้วยสายตาของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีความคล้ายคลึงกันระดับปานกลาง และสามารถนำแบบจำลองส่วนอุ้งเชิงกรานนี้ไปใช้ในการทดสอบการประมวลผลภาพด้วยวิธีการกรองภาพ วิธีการแบ่งข้อมูลภาพ และวิธีการสร้างภาพใหม่ ในแนวซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง ได้ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์ส่วนอุ้งเชิงกรานนี้สามารถนำไปใช้ทดแทนแบบจำลองมาตรฐาน และสามารถใช้กับงานวิจัยอื่นที่ต้องการพัฒนาอัลกอริทึมหรือทดสอบอัลกอริทึมได้แต่ยังต้องปรับปรุงในส่วนที่มีความแตกต่างของข้อมูลให้ใกล้เคียงกับข้อมูลภาพต้นฉบับ

References

1. Radiology Support Devices, The Alderson Radiation Therapy phantom. [Internet], [cited 2019 Jan 20]. Available from: http://www.rsdphantoms.com/rt_art.htm.
2. Shepp A, Logan BF. The fourier reconstruction of a head section. *IEEE T Nucl Sci* 1974;21:21-43.
3. Matlab. Create head phantom image. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/phantom.html>.
4. ImageJ. ImageJ program. [Internet], [cited 2019 May 2]. Available from: <https://imagej.nih.gov/ij/>.
5. Matlab. Add noise to image. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/imnoise.html>.
6. Matlab. Image filter. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imfilter.html>.
7. Matlab. Global image threshold using Otsu's method. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html>.
8. Matlab. Multilevel thresholding. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/grayslice.html>.
9. Matlab. Concatenate arrays along specified dimension. [Internet], [cited 2019 Feb 29]. Available from: <https://www.Mathworks.com/help/matlab/ref/cat.html>.

10. Liang X, Zhang Z, Niu T, et al. Iterative image-domain ring artifact removal in cone-beam CT. *Phys Med* 2017;62:5276-92.
11. Li S, Quinto ET, Shiqiang W, et al. Simultaneous reconstruction and segmentation with the mumford-shah functional for electron tomography. *Proceedings of IEEE Eng Med Biol Soc*; 2016 August 16-20, Orlando, Florida, United States; 2016. p. 5909-12.
12. Singer A, Wu HT. Two-dimensional tomography from noisy projections taken at unknown random directions. *Siam J Imaging Sci* 2013;6(1):136-75.
13. Kaewlek T, Koolpiruck D, Thongvigitmanee S, et al. Metal artifact reduction and image quality evaluation of lumbar spine CT images using metal sinogram segmentation. *J X-ray Sci Technol* 2015;23(6):649-66.
14. Messali Z, Chetih N, Serir A, et al. A quantitative comparative study of back projection, filtered back projection, gradient and bayesian reconstruction algorithms in computed tomography (CT). *IJPS* 2015;4(1):12-31.
15. Pretorius PH, King MA, Tsui BM, et al. A mathematical model of motion of the heart for use in generating source and attenuation maps for simulating emission imaging. *J Med Phys* 1999;(11)26:2323-32.
16. Division of Medical Imaging Physics, Johns Hopkins Medical Institutions, USA. Medical Imaging Simulation Techniques and Computer Phantoms. [Internet], [cited 2019 June 3]. Available from: <http://dmip1.rad.jhmi.edu/xcat>.