



การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่
ดับจากภาพสีที่มีประสิทธิภาพ



โดย
นายบุญนที ศักดิ์บุญญารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ แบบ 1.1 ระดับปริญญาคุณวุฒิบัณฑิต

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

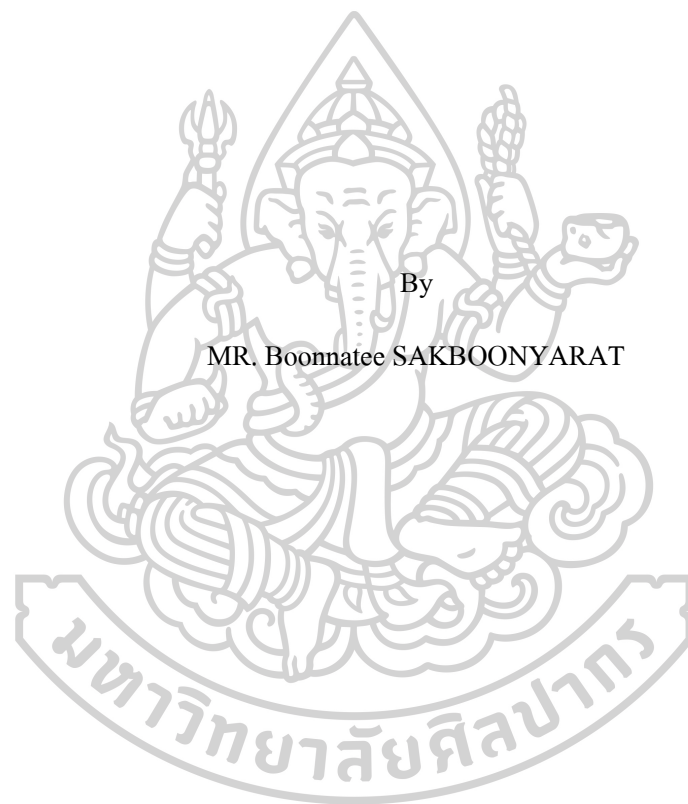
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการ
แยกพื้นที่ดับจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ แบบ 1.1 ระดับปริญญาคุณวุฒิบัณฑิต
ภาควิชาคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND MEAN-SHIFT CLUSTERING
FOR EFFICIENT LIVER SEGMENTATION FROM CT IMAGES



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Doctor of Philosophy (INFORMATION TECHNOLOGY)

Department of COMPUTER SCIENCE

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ
ย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่ตัดจากภาพซีทีอย่างมี
ประสิทธิภาพ

โดย

บุญที ศักดิ์บุญญารัตน์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ แบบ 1.1 ระดับปริญญาตรีบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ดร. รัชดาพร คณาวงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์)

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนีย์ พงษ์พินิจภิญโญ)

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์)

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทที นิกานันท์)

56309801 : เทคโนโลยีสารสนเทศ แบบ 1.1 ระดับปริญญาตรีบัณฑิต

คำสำคัญ : การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย, U-Net, การแยกพื้นที่ตับ

นาย บุญนที ศักดิ์บุญญารัตน์: การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์

ทุกวันนี้มีการใช้ข้อมูลจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) แบบสามมิติ เพื่อวินิจฉัยโรคมะเร็งตับหรือตรวจสอบสภาพตับ งานนี้เสนอวิธีการที่สามารถค้นหาตำแหน่งของชิ้นส่วนตับที่ใหญ่ที่สุดในภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้เรายังขยายวิธีนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแยกพื้นที่ตับ วิธีการที่นำเสนอนี้ใช้พื้นฐานของ U-Net ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็ม เพื่อแบ่งส่วนตับอย่างคร่าว ๆ และใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการแยกพื้นที่ตับ โดยจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงบนข้อมูลฮิสโตแกรมหลังจากการแยกพื้นที่ตับในขั้นตอนของ U-Net ช่วยป้องกันการแบ่งส่วนเกินของตับและปรับปรุงความแม่นยำของวิธีการที่พึ่งพา U-Net เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีการแนะนำเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพแบบนวนิยายบนพื้นฐานของการเพิ่มขีดความสามารถทางสถิติเพื่อเพิ่มความแม่นยำ วิธีไฮบริดนี้ประมวลผลแต่ละชิ้นในเวลา 0.35 วินาทีโดยเฉลี่ย (75 วินาทีต่อภาพ) และความแม่นยำของค่ามัธยฐานของการวัดในดัชนีความคล้ายคลึงกันในการตรวจสอบความถูกต้องแบบ 5 ครออสวาไลเดชัน (5-fold cross-validation) อยู่ในระดับร้อยละ

56309801 : Major (INFORMATION TECHNOLOGY)

Keyword : U-Net, Mean-Shift Clustering, Liver Segmentation

MR. BOONNATEE SAKBOONYARAT : APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND MEAN-SHIFT CLUSTERING FOR EFFICIENT LIVER SEGMENTATION FROM CT IMAGES THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. PINYO TAEPRASARTSIIT

Nowadays, 3D computed tomography (CT) data is commonly employed to diagnose liver cancer or to examine liver condition. This work proposes a method that can quickly find a location of the biggest CT slice of the liver. We also extend this method to demonstrate that it can work as an efficient algorithm for liver segmentation. The proposed method is based on a U-Net, fully convolutional neural network, to roughly segment the liver and employs a mean-shift clustering algorithm to enhance liver localization accuracy. This addition of mean-shift clustering on histogram data after rough segmentation by U-Net prevents over-segmentation of the liver and significantly improves the accuracy of a method solely relying on a U-Net. A novel image-enhancement technique based on statistical thresholding is also introduced to further increase accuracy. This hybrid method processed each slice in 0.35 seconds on average (75 seconds per image) and its median accuracy measured in Dice similarity index in 5-fold cross-validation was 97%.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. รัชดาพร คณาวัณษ์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธาน โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนีย์ พงษ์พินิจภิญโญ เป็นกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทธินิภาพันธ์ จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นกรรมการภายนอก ในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอบคุณคณะผู้บริหาร โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ที่มีวิสัยทัศน์และเห็นความสำคัญของการพัฒนาบุคลากร โดยได้มอบโอกาสและทุนการศึกษาในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้วิจัยมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้วิจัย ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

บุญนที ศักดิ์บุญญารัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 2	8
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์	8
2.2 งานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีที.....	10
2.3 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำผลการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีที [6]	11
2.4 เทคนิควิธีการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีที.....	13
2.5 ระนาบร่างกาย (Body plane)	17

2.6 การแทนข้อมูลของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ [36, pp. 475–478]	17
2.7 การแสดงภาพจากค่าสีที่	19
2.8 การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) [37]	21
บทที่ 3	25
วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	26
3.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง.....	26
3.4 สถาปัตยกรรม U-Net.....	30
3.5 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย(Mean-Shift Clustering)	33
3.6 การทดลองและการวัดประสิทธิภาพ.....	35
บทที่ 4	36
ผลการดำเนินงานวิจัย.....	36
4.1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยการแบ่งกลุ่มแบบย้ายค่าเฉลี่ย	36
4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบด้วยการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NbSD.....	38
4.3 ผลลัพธ์จากการทดสอบด้วยการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NCDF	42
4.4 สรุปผลการทดสอบ	45
บทที่ 5	47
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	47
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	48
5.3 ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก	54



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	สรุปสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก	2
ตารางที่ 2	สรุปสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย	3
ตารางที่ 3	ค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ	4
ตารางที่ 4	สรุปผลการแยกพื้นที่คัพที่น่าสนใจจากทีมผู้วิจัยที่เผยแพร่ผลงานในช่วงปี 2007 - 2015	14
ตารางที่ 5	โครงสร้าง CNN ในรูปแบบต่าง ๆ	22
ตารางที่ 6	แสดงข้อมูลรายละเอียดของภาพซีทีจำนวน 20 ภาพจาก SLIVER07	27
ตารางที่ 7	แสดงจำนวนภาพข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าความละเอียดวีทเชล	28
ตารางที่ 8	แสดงจำนวนภาพข้อมูลที่มีพื้นที่คัพที่เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าความละเอียดวีทเชล	28
ตารางที่ 9	พารามิเตอร์โมเดล U-Net ชั้นตอน Down sampling path	32
ตารางที่ 10	พารามิเตอร์โมเดล U-Net ชั้นตอน Up sampling path	32
ตารางที่ 11	แสดงข้อมูลการแบ่งชุดทดสอบ และชุดฝึกการเรียนรู้แบบ 5-fold cross-validation	35
ตารางที่ 12	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + UNet	40
ตารางที่ 13	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Mean-Shift*	40
ตารางที่ 14	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Mean-Shift	41
ตารางที่ 15	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Connected Components	41
ตารางที่ 16	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + UNet	42
ตารางที่ 17	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Mean-Shift*	43
ตารางที่ 18	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Mean-Shift	43
ตารางที่ 19	ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Connected Components	44
ตารางที่ 20	สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD ของชุดทดสอบที่ 1 – 5	45
ตารางที่ 21	สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF ของชุดทดสอบที่ 1 – 5	45

ตารางที่ 22 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + Mean-Shift* ของชุดทดสอบที่ 1 – 545

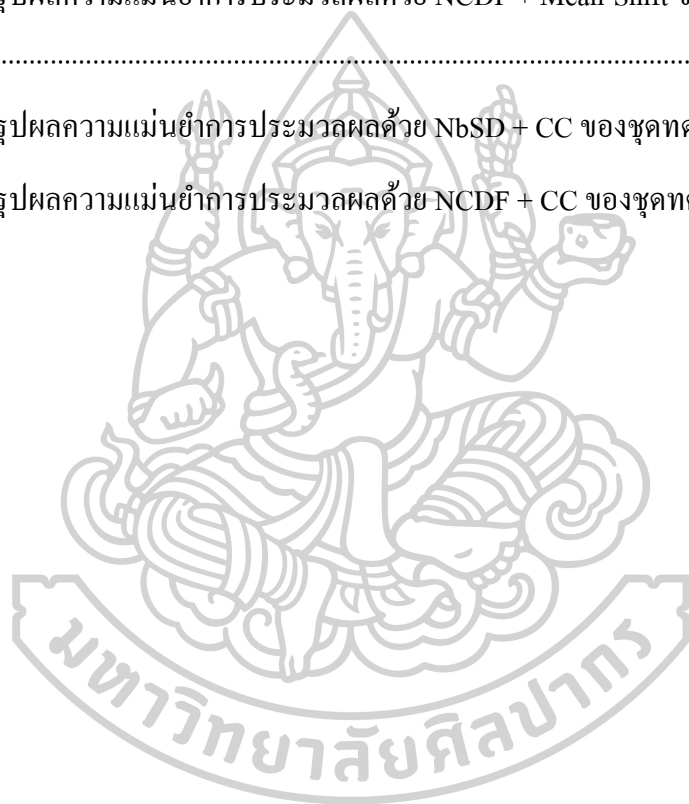
ตารางที่ 23 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + Mean-Shift* ของชุดทดสอบที่ 1 – 545

ตารางที่ 24 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + Mean-Shift ของชุดทดสอบที่ 1 – 546

ตารางที่ 25 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + Mean-Shift ของชุดทดสอบที่ 1 – 546

ตารางที่ 26 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + CC ของชุดทดสอบที่ 1 – 546

ตารางที่ 27 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + CC ของชุดทดสอบที่ 1 – 546



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพที่ 1 สถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก.....	1
รูปภาพที่ 2 แสดงสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย	3
รูปภาพที่ 3 แสดงพัฒนาการของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Spiral CT และ multi-slice CT ...	8
รูปภาพที่ 4 หัววัดรังสีเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ชนิดซิงเกิ้ลสไลซ์ และชนิดมัลติสไลซ์.....	9
รูปภาพที่ 5 ตัวอย่างทางกายภาพของภาพซีทีในช่องท้อง (a) แสดงภาพซีทีตับและอวัยวะใกล้เคียง ในมุมมอง coronal (b) แสดงภาพซีทีตับที่เป็น โรคมะเร็ง	10
รูปภาพที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลระบบ GC-OAAM	15
รูปภาพที่ 7 ขั้นตอนการประมวลผลระบบงานของ Li และคณะ	16
รูปภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายโดยอาศัยแนวผ้าแบ่งร่างตามระนาบ..	17
รูปภาพที่ 9 แสดงภาพค่าความหนาแน่นของ (a) เนื้อเยื่ออ่อน (b) กระดูก และ (c) ปอด	19
รูปภาพที่ 10 ภาพการแยกพื้นที่ตับแสดงผลภาพแบบ 2 มิติ และแสดงผลภาพแบบ 3 มิติ	19
รูปภาพที่ 11 แสดงการอ้างอิงข้อมูลในภาพ 2 มิติ และ ภาพ 3 มิติ ด้วยฟังก์ชัน I	20
รูปภาพที่ 12 สถาปัตยกรรมของ CNN.....	23
รูปภาพที่ 13 ตัวอย่างสถาปัตยกรรมของ U-Net.....	24
รูปภาพที่ 14 ภาพขยายการประยุกต์ใช้ U-Net และภาพขวเพิ่มเติมการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย	25
รูปภาพที่ 15 ภาพขยายภาพซีทีที่ปรับค่าเอชยูด้วยสมการที่ (20) และภาพขวภาพซีทีที่ปรับค่าเอชยูด้วย สมการที่ (19).....	30
รูปภาพที่ 16 สถาปัตยกรรม U-Net ที่ปรับปรุงและนำมาใช้สำหรับการดำเนินการวิจัย	31
รูปภาพที่ 17 ภาพผลลัพธ์จากพื้นที่ตับที่ตัดพื้นที่ส่วนเกินด้วย Mean-Shift	36
รูปภาพที่ 18 ภาพผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ตับ และการตัดพื้นที่ส่วนเกิน NbSD + Mean-Shift	37
รูปภาพที่ 19 ภาพผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ตับ และการตัดพื้นที่ส่วนเกิน NCDF + Mean-Shift.....	38

รูปภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การใช้ Connected Components (CC)39

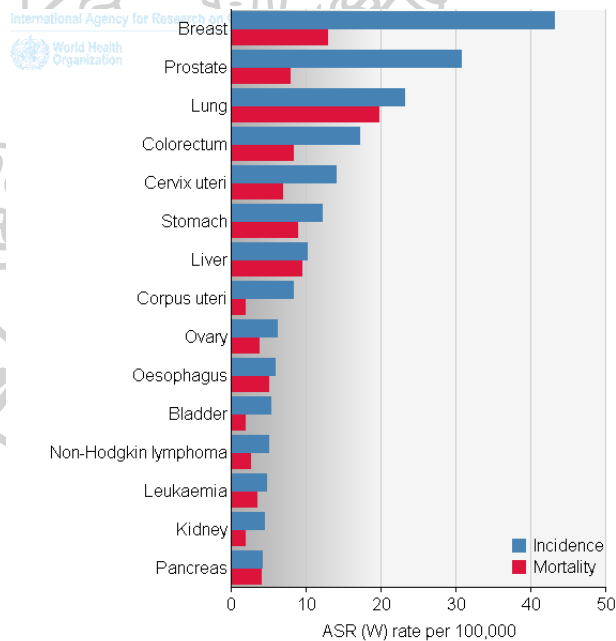


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การแพทย์ในปัจจุบันมุ่งเน้นให้ประชาชนใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้นเพื่อป้องกันโรคก่อนที่อาการจะรุนแรงมากขึ้น แพทย์จึงแนะนำให้มีการตรวจสุขภาพเป็นประจำทุกปี เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค หากสามารถตรวจจับโรคได้ตั้งแต่ระยะเริ่มแรกจะสามารถทำการรักษาในขณะที่โรคนั้นยังไม่รุนแรงได้ ผลการวิจัยทางการแพทย์พบว่าเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomogram) หรือ ซีทีสแกน (CT-Scan) สามารถตรวจหาความผิดปกติภายในบางอย่างได้ตั้งแต่ผู้เข้ารับการตรวจยังไม่มีอาการ เช่น โรคมะเร็ง เมื่อเริ่มก่อตัวก็มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่มีอาการและไม่สามารถตรวจพบโดยการตรวจร่างกายทั่วไป หรือการตรวจเลือด [1]



รูปภาพที่ 1 สถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก¹

¹ แสดงสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อมูลจาก GLOBOCAN 2012. Available at:

http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx. Accessed March 1, 2016

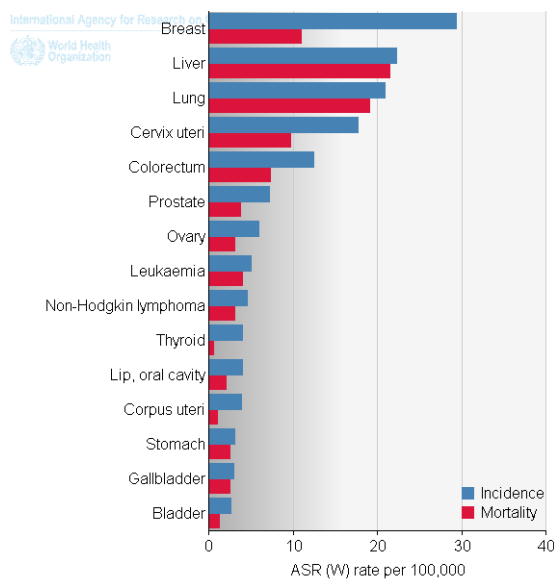
ตารางที่ 1 สรุปสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก²

Cancer	Incidence			Mortality			5-year prevalence		
	Number	(%)	ASR (W)	Number	(%)	ASR (W)	Number	(%)	Prop.
Lip, oral cavity	300373	2.1	4.0	145353	1.8	1.9	702149	2.2	13.5
Nasopharynx	86691	0.6	1.2	50831	0.6	0.7	228698	0.7	4.4
Other pharynx	142387	1.0	1.9	96105	1.2	1.3	309991	1.0	6.0
Oesophagus	455784	3.2	5.9	400169	4.9	5.0	464063	1.4	8.9
Stomach	951594	6.8	12.1	723073	8.8	8.9	1538127	4.7	29.6
Colorectum	1360602	9.7	17.2	693933	8.5	8.4	3543582	10.9	68.2
Liver	782451	5.6	10.1	745533	9.1	9.5	633170	2.0	12.2
Gallbladder	178101	1.3	2.2	142823	1.7	1.7	205646	0.6	4.0
Pancreas	337872	2.4	4.2	330391	4.0	4.1	211544	0.7	4.1
Larynx	156877	1.1	2.1	83376	1.0	1.1	441675	1.4	8.5
Lung	1824701	13.0	23.1	1589925	19.4	19.7	1893078	5.8	36.5
Melanoma of skin	232130	1.7	3.0	55488	0.7	0.7	869754	2.7	16.8
Kaposi sarcoma	44247	0.3	0.6	26974	0.3	0.3	80395	0.2	1.5
Breast	1671149	11.9	43.1	521907	6.4	12.9	6232108	19.2	239.9
Cervix uteri	527624	3.8	14.0	265672	3.2	6.8	1547161	4.8	59.6
Corpus uteri	319605	2.3	8.3	76160	0.9	1.8	1216504	3.7	46.8
Ovary	238719	1.7	6.1	151917	1.9	3.8	586624	1.8	22.6
Prostate	1094916	7.8	30.7	307481	3.7	7.8	3857500	11.9	148.6
Testis	55266	0.4	1.5	10351	0.1	0.3	214666	0.7	8.3
Kidney	337860	2.4	4.4	143406	1.7	1.8	906746	2.8	17.5
Bladder	429793	3.1	5.3	165084	2.0	1.9	1319749	4.1	25.4
Brain, nervous system	256213	1.8	3.4	189382	2.3	2.5	342914	1.1	6.6
Thyroid	298102	2.1	4.0	39771	0.5	0.5	1206075	3.7	23.2
Hodgkin lymphoma	65950	0.5	0.9	25469	0.3	0.3	188538	0.6	3.6
Non-Hodgkin lymphoma	385741	2.7	5.1	199670	2.4	2.5	832843	2.6	16.0
Multiple myeloma	114251	0.8	1.5	80019	1.0	1.0	229468	0.7	4.4
Leukaemia	351965	2.5	4.7	265471	3.2	3.4	500934	1.5	9.6
All cancers excl. non-melanoma skin cancer	14067894	100.0	182.0	8201575	100.0	102.4	32455179	100.0	625.0

Incidence and mortality data for all ages. 5-year prevalence for adult population only.
ASR (W) and proportions per 100,000.

ข้อมูลสถิติโรคมะเร็งจาก GLOBOCAN รายละเอียดดังตารางที่ 1 รายงานให้ทราบว่าในปี ค.ศ. 2012 พบผู้ป่วยโรคมะเร็งรายใหม่ 14.1 ล้านราย และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็ง 8.2 ล้านราย ซึ่งโรคมะเร็งตับเป็นหนึ่งในโรคมะเร็งที่พบผู้ป่วยมากในลำดับต้น ๆ [2] ดังรูปภาพที่ 1 สำหรับประเทศไทยพบผู้ป่วยโรคมะเร็งตับมีมากเป็นอันดับสองดังรูปภาพที่ 2 และมีอัตราการเสียชีวิตสูงเป็นอันดับแรกเมื่อเทียบกับโรคมะเร็งชนิดอื่น ๆ ดังตารางที่ 2 ด้วยเหตุนี้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับวงการแพทย์ในปัจจุบันใช้สำหรับตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย

² สรุปสถิติของจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อมูลจาก GLOBOCAN 2012. Available at: http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx. Accessed March 1, 2016



รูปภาพที่ 2 แสดงสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย³

ตารางที่ 2 สรุปสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย⁴

Cancer	Incidence			Mortality			5-year prevalence		
	Number	(%)	ASR (W)	Number	(%)	ASR (W)	Number	(%)	Prop.
Lip, oral cavity	3709	3.0	4.0	1913	2.3	2.1	10691	3.7	19.1
Nasopharynx	1867	1.5	2.1	1114	1.3	1.3	5543	1.9	9.9
Other pharynx	1302	1.1	1.4	816	1.0	0.9	3169	1.1	5.7
Oesophagus	2308	1.9	2.5	2061	2.4	2.2	3415	1.2	6.1
Stomach	2841	2.3	3.1	2286	2.7	2.5	4501	1.6	8.0
Colorectum	11493	9.3	12.4	6848	8.1	7.3	35312	12.2	63.0
Liver	20455	16.5	22.3	19442	22.9	21.5	15605	5.4	27.8
Gallbladder	2794	2.3	3.0	2381	2.8	2.5	4301	1.5	7.7
Pancreas	1920	1.6	2.1	1722	2.0	1.8	2195	0.8	3.9
Larynx	1232	1.0	1.3	648	0.8	0.7	3624	1.3	6.5
Lung	19505	15.8	20.9	17669	20.8	19.1	21004	7.3	37.5
Melanoma of skin	407	0.3	0.5	262	0.3	0.3	1358	0.5	2.4
Kaposi sarcoma	39	0.0	0.1	30	0.0	0.0	120	0.0	0.2
Breast	13653	11.0	29.3	5092	6.0	11.0	54269	18.8	188.3
Cervix uteri	8184	6.6	17.8	4513	5.3	9.7	30501	10.6	105.8
Corpus uteri	1852	1.5	3.9	512	0.6	1.1	7504	2.6	26.0
Ovary	2689	2.2	6.0	1431	1.7	3.1	7884	2.7	27.4
Prostate	3182	2.6	7.2	1700	2.0	3.7	17952	6.2	65.9
Testis	208	0.2	0.6	64	0.1	0.2	640	0.2	2.3
Kidney	1017	0.8	1.2	632	0.7	0.7	2283	0.8	4.1
Bladder	2537	2.0	2.7	1288	1.5	1.3	9087	3.1	16.2
Brain, nervous system	1689	1.4	2.2	1183	1.4	1.4	2907	1.0	5.2
Thyroid	3471	2.8	4.0	568	0.7	0.6	12887	4.5	23.0
Hodgkin lymphoma	312	0.3	0.4	131	0.2	0.2	795	0.3	1.4
Non-Hodgkin lymphoma	3951	3.2	4.5	2706	3.2	3.0	9494	3.3	16.9
Multiple myeloma	751	0.6	0.8	582	0.7	0.7	2067	0.7	3.7
Leukaemia	3744	3.0	5.1	3071	3.6	4.0	3983	1.4	7.1
All cancers excl. non-melanoma skin cancer	123801	100.0	137.5	84981	100.0	93.7	288614	100.0	514.9

Incidence and mortality data for all ages. 5-year prevalence for adult population only. ASR (W) and proportions per 100,000.

³ แสดงสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย ข้อมูลจาก GLOBOCAN 2012

⁴ สรุปสถิติจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย ข้อมูลจาก GLOBOCAN 2012. Available at:

http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx. Accessed March 1, 2016

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายด้วยรังสีเอกซ์ โดยฉายลำแสงเอกซ์ผ่านอวัยวะที่ต้องการตรวจในแนวตัดขวาง ขณะทำงานหลอดเอกซเรย์จะหมุนรอบตัวผู้ป่วยปล่อยรังสีเอกซ์ลำแคบรูปใบพัด (narrow fan beam) ทะลุผ่านร่างกายผู้ป่วยไปยังหัววัดรังสีจำนวนมากที่เรียงตัวอยู่ด้านตรงข้ามหลอดเอกซเรย์ ซึ่งหัววัดรังสีจะทำหน้าที่แปลงความเข้มของรังสีที่มีปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากขณะที่รังสีทะลุผ่านร่างกายที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากันที่หัววัดรังสีจะทำหน้าที่แปลงความเข้มของรังสีเป็นค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ ซึ่งมีหน่วยเป็นเลข เฮนส์ฟิลด์ (Hounsfield Units, HU) การคำนวณค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อจะอ้างอิงกับค่าความหนาแน่นของอากาศ (Air) และค่าความหนาแน่นของน้ำ (Water) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ -1000 HU และ 0 HU ตามลำดับซึ่งค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อต่าง ๆ เมื่อคำนวณตามขั้นตอนมาตรฐานแล้วจะได้ข้อมูลอยู่ในช่วง -1000 HU ถึง +1000 HU หรือค่าสูงสุดอาจมากกว่า +1000 HU ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรเขียนโปรแกรมของผู้ผลิตเครื่องซีที [3, pp. 63–67]

ตารางที่ 3 ค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ⁵

เนื้อเยื่อ	ค่า HU
Air	-1000
Lung parenchyma	-910 to -850
Fat	-100 to -50
Water	0
White matter	+20 to +30
Kidney	+20 to +40
Spleen	+35 to +55
Grey matter	+37 to +45
Blood	+45 to +65
Liver	+45 to +65
Hematoma	+40 to +90
Bone	+700 to +3000

⁵ ค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ ข้อมูลจาก <http://radclass.mudr.org/content/hounsfield-units-scale-hu-ct-numbers>. Accessed March 6,

อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญในขั้นตอนการประมวลผลภาพให้ได้มาซึ่งสารสนเทศเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับวินิจฉัยโรคของแพทย์ เป็นส่วนที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกโดยเฉพาะภาพซีทีสแกนส่วนช่องท้อง เนื่องจากภาพที่ได้จากการสแกนส่วนช่องท้องจะมีอวัยวะที่สำคัญหลายอวัยวะ เช่น ตับ (Liver) ไต (Kidneys) และม้าม (Spleen) ดังนั้นการประมวลผลภาพซีทีสแกนส่วนช่องท้องจึงมีความสำคัญเนื่องจาก ข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่องซีทีสแกนจะส่งค่าความหนาแน่น (HU) ของเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ในช่องท้องมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 ส่งผลต่อการประมวลผลภาพให้ได้สารสนเทศสำหรับวินิจฉัยโรค

สำหรับการตรวจรักษาโรคมะเร็งตับจำเป็นต้องใช้ภาพซีทีสแกนในช่องท้องเพื่อประเมินและติดตามอาการของผู้ป่วย เครื่องมือที่สำคัญสำหรับช่วยให้แพทย์สามารถประเมินแผนการรักษาผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือซอฟต์แวร์สำหรับแยกพื้นที่ตับในภาพซีทีสแกนซึ่งจะช่วยให้แพทย์ใช้เวลาในการวินิจฉัยโรคได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีสแกนจึงเป็นงานที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลภาพให้ได้สารสนเทศสำหรับการวินิจฉัยโรคอย่างมาก ดังนั้นการพัฒนาาระบบสำหรับการแยกพื้นที่ตับได้แบบอัตโนมัติจากภาพซีทีสแกน ส่งผลให้แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย สำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและคิดค้นอัลกอริทึมสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลา และความแม่นยำสูง เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางคลินิก
- 2) เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีแบบอัตโนมัติ
- 3) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น และเน้นไปที่ชุดข้อมูลเดียวกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การคิดค้นและปรับปรุงอัลกอริทึมสำหรับการแยกพื้นที่ตับในภาพซีที จะกระทำบนภาพถ่ายซีทีที่มีลักษณะดังนี้

- 1) เป็นภาพถ่ายซีทีที่ส่วนช่องท้องที่มีพื้นที่ตับปรากฏในภาพชัดเจน และมีพื้นที่ตับในภาพมากพอสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ
- 2) ภาพตับในภาพถ่ายซีทีที่อาจจะมียโรคแสดงอยู่ เช่น โรคมะเร็ง

1.3.2 การทวนสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำ จะกระทำโดยเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งใช้ฐานข้อมูลที่เปิดเผยต่อสาธารณะดังนี้

- 1) ฐานข้อมูลจากการแข่งขัน Segmentation of the Liver 2007 (SLIVER07)⁶
- 2) ฐานข้อมูลภาพถ่ายช่องท้องของ Research Institute against Digestive Cancer (IRCAD)⁷

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

- 1) ศึกษาปัญหาและความสำคัญการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายซีที
- 2) ศึกษาและค้นหาแหล่งฐานข้อมูลภาพถ่ายซีทีสแกนภายในช่องท้อง เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้และทดสอบการแยกพื้นที่ตับ
- 3) ศึกษาแนวคิดและอัลกอริทึมจากงานวิจัยก่อนหน้า เพื่อใช้เป็นแนวทางการคิดค้นและปรับปรุงอัลกอริทึมสำหรับการแยกพื้นที่ตับในภาพซีที
- 4) ออกแบบและพัฒนาแม่แบบการคำนวณที่สามารถนำมาคำนวณแบบขนานได้ โดยประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง และการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย เพื่อสร้างระบบการแยกพื้นที่ตับในภาพซีที
- 5) ทดสอบการทำงาน และประเมินผลการทำงานของระบบการแยกพื้นที่ตับในภาพซีที
- 6) ปรับปรุงระบบการแยกพื้นที่ตับในภาพซีทีให้สามารถทำงานได้แม่นยำ
- 7) สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

⁶ <http://sliver07.org/download.php>

⁷ <http://www.ircad.fr/research/3d-ircadb-01/>

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์และการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) เพื่อนำองค์ความรู้ใหม่ที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาสารสนเทศสำหรับการวินิจฉัยโรคจากภาพซีทีได้

1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

- 1) Computed Tomogram (CT-Scan) หมายถึง เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีรังสีเอกซ์และอาศัยคอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อสร้างภาพตัดขวาง ช่วยให้สามารถเห็นภาพภายในร่างกายโดยไม่ต้องผ่าตัด
- 2) Hounsfield unit (HU) หมายถึง หน่วยที่ใช้สำหรับอ้างอิงค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อที่ได้จากการแปลงความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านร่างกายมายังหัววัดรังสี การคำนวณค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อจะอ้างอิงกับค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ -1000 HU และค่าความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 0 HU
- 3) CT images หมายถึง ภาพซีทีซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และถูกจัดเก็บเป็นแฟ้มภาพดิจิทัลสามมิติด้วยรูปแบบของประเภทข้อมูลที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แต่ละราย เช่น DICOM Files (.dcm), Insight Meta-Image (.mhd), Neuroimaging Informatics Technology Initiative (.nii) ฯลฯ
- 4) machine learning หมายถึง การเรียนรู้ของเครื่องจากอัลกอริทึมที่ออกแบบให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาได้ด้วยการจดจำชุดข้อมูลฝึกด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างโมเดลทางสถิติสำหรับใช้ทำนายหรือตัดสินใจการแก้ปัญหาต่าง ๆ

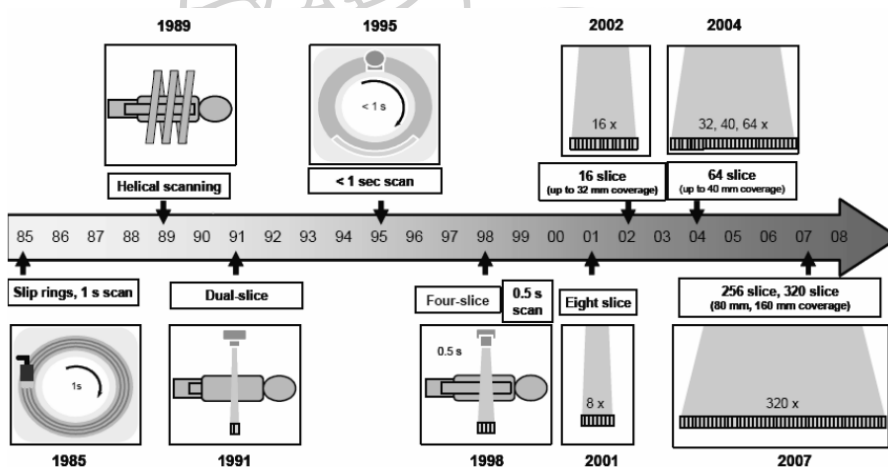
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และงานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการแยกพื้นที่ที่ตัดจากภาพซีที เพื่อนำไปสู่การการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการแยกพื้นที่ที่ตัดจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพได้ รายละเอียดดังนี้

2.1 เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

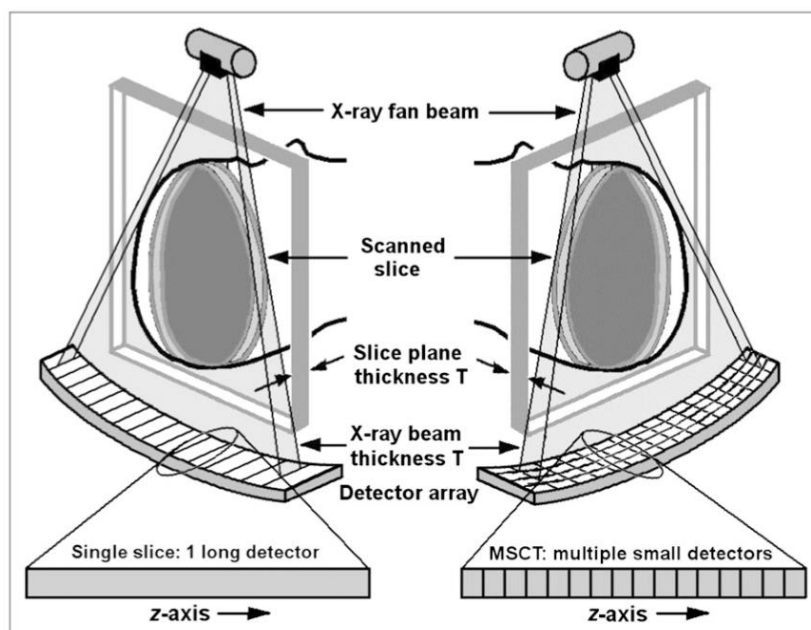
เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เครื่องแรกถูกคิดค้น โดย Godfrey Newbold Hounsfield และ Allan McLeod Cormack ในปี ค.ศ.1972 สามารถสแกนภาพขนาดความหนา 13 มิลลิเมตร ใช้เวลา 300 วินาทีต่อภาพ [4] และมีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องแสดงดังรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 3 แสดงพัฒนาการของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Spiral CT และ multi-slice CT⁸

⁸ แสดงพัฒนาการของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Spiral CT และ multi-slice CT ที่มาจาก รายงานการศึกษาการประเมินการใช้เครื่องตรวจวินิจฉัยทางรังสีอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในสถานบริการสุขภาพภาครัฐ สถาบันวิจัยและประเมินเทคโนโลยีทางการแพทย์ กรมการแพทย์กระทรวงสาธารณสุข

ปัจจุบันเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่เป็นเครื่องซีทีสแกนชนิดมัลติสไลซ์ซีที (multi-slice CT : MSCT) ซึ่งพัฒนาต่อออกจากเครื่องชนิดซิงเกิ้ลสไลซ์ซีที (single-slice CT : SSCT) โดยเพิ่มจำนวนแถวของหัววัดรังสีเพื่อให้การสแกนภาพครั้งหนึ่ง ๆ สามารถเก็บข้อมูลได้ครั้งละหลายภาพตามจำนวนแถวของหัวอ่านได้ ส่งผลให้ได้ภาพที่มีความละเอียดมากขึ้นและใช้เวลาในการสแกนภาพลดลงอย่างมาก



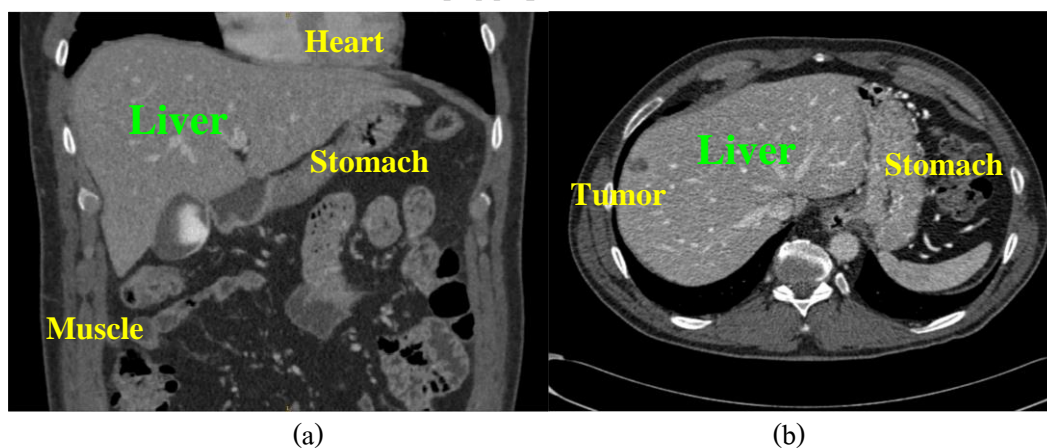
รูปภาพที่ 4 หัววัดรังสีเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ชนิดซิงเกิ้ลสไลซ์ และชนิดมัลติสไลซ์⁹

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ชนิดมัลติสไลซ์ซีที มีจำนวนแถวของหัววัดรังสีให้เลือกหลายแบบตั้งแต่ 4, 8, 16, 24, 32, 64, 128, 256 และ 320 สไลซ์ [4, pp. 6–10] แสดงตัวอย่างดังรูปภาพที่ 4 การถ่ายภาพของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จะอาศัยการฉายรังสีเอกซ์ผ่านอวัยวะที่ต้องการตรวจในแนวตัดขวาง ขณะทำงานหลอดรังสีเอกซ์จะหมุนรอบตัวผู้ป่วยปล่อยรังสีเอกซ์ลำแคบรูปใบพัด (narrow fan beam) ทะลุผ่านร่างกายผู้ป่วยไปยังหัววัดรังสีจำนวนมากที่เรียงตัวอยู่ด้านตรงข้ามหลอดรังสีเอกซ์ ซึ่งหัววัดรังสีจะทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลความเข้มของรังสีที่อ่านได้ส่งต่อไปขั้นตอนการเก็บเป็นข้อมูล ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลขณะทีรังสีทะลุผ่านร่างกายที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน โดยชุดหัววัดรังสีจะทำหน้าที่แปลงความเข้มของรังสีที่อ่านได้เป็นค่าความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็นเลขเฮนส์ฟิลด์ (Hounsfield Units, HU)

⁹ ภาพแสดงหัววัดรังสีเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ จาก L. W. Goldman, "Principles of CT: Multislice CT," J. Nucl. Med. Technol., vol. 36, no. 2, pp. 57–68, 2008.

2.2 งานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีที

งานวิจัยการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีเป็นงานที่ทำมานานหนึ่ง เนื่องจากตับเป็นอวัยวะที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นเนื้อเยื่ออ่อนและมีท่อน้ำดีแทรกอยู่ภายใน ส่งผลให้การสแกนภาพซีทีในช่องท้องซึ่งมีอวัยวะอื่น ๆ ที่อยู่ติดกับตับและมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับตับ เช่น หัวใจ กระเพาะอาหาร ไต และม้าม ได้ค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ (ค่า HU) ที่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย ดังรูปภาพที่ 5 (a) แสดงภาพซีทีในช่องท้องที่มีอวัยวะตับ หัวใจ กระเพาะอาหาร และกล้ามเนื้อ ที่มีค่าHU ใกล้เคียงในมุมมอง coronal และ (b) แสดงภาพซีทีในช่องท้องที่มีตับเป็นโรคมะเร็ง



รูปภาพที่ 5 ตัวอย่างทางกายภาพของภาพซีทีในช่องท้อง (a) แสดงภาพซีทีที่ตับและอวัยวะใกล้เคียงในมุมมอง coronal (b) แสดงภาพซีทีที่ตับที่เป็นโรคมะเร็ง

ปี 2007 มีการจัดการแข่งขันการแยกพื้นที่ตับขึ้นโดยหน่วยงาน The Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention Society (“The MICCAI Society”) ใน โครงการแข่งขัน Segmentation of the Liver 2007 (SLIVER07) [5] ซึ่งโครงการดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีที และมีทีมนักวิจัยจำนวนมากสนใจเข้าร่วมโครงการดังกล่าว ทีมนักวิจัยที่สมัครเข้าร่วมโครงการจะได้รับชุดข้อมูลภาพซีที 2 ชุดคือชุดข้อมูลสำหรับระบบเรียนรู้ (Training Set) จำนวน 20 ภาพ และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Test Set) จำนวน 10 ภาพ โดยมีเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำ 5 ข้อ คือ Volumetric Overlap Error (VOE), Relative Volume Difference (RVD), Average Symmetric Surface Distance (ASSD), Root Mean Square Symmetric Surface Distance (RMSD) และ Maximum Symmetric Surface Distance (MSSD) [6]

2.3 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำผลการแยกพื้นที่ดับจากภาพซีที [6]

- 1) Volumetric Overlap Error: VOE คือ ข้อผิดพลาดที่ทับซ้อนกันระหว่างปริมาตรของชุดข้อมูล V_a และ V_b โดยกำหนดให้ V_a แทนชุดข้อมูลผลการแยกพื้นที่ดับ และ V_b แทนชุดข้อมูลอ้างอิงพื้นที่ดับ คำนวณได้จากสมการที่ (1) ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าระหว่างร้อยละ 0 ถึง 100 ซึ่งถ้าผลลัพธ์จากสมการดังกล่าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 0 หมายถึงปริมาตรของชุดข้อมูลทั้งสองทับซ้อนกันแบบสมบูรณ์ และถ้าได้ผลลัพธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 หมายถึงไม่มีปริมาตรของชุดข้อมูลทั้งสองทับซ้อนกันเลย

$$VOE(V_a, V_b) = 100 \left(1 - \frac{|V_a \cap V_b|}{|V_a \cup V_b|} \right) \quad (1)$$

- 2) Relative Volume Difference: RVD คือ ความแตกต่างของปริมาณความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูล V_a และ V_b สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (2) ผลลัพธ์ที่ได้มีหน่วยเป็นร้อยละ ความแตกต่างของปริมาณความสัมพันธ์ในชุดข้อมูลทั้งสองเมื่อ $|RVD(V_a, V_b)|$ เข้าใกล้ร้อยละ 0 มากเท่าใดแสดงถึง ระดับความแตกต่างของปริมาณความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองที่น้อยลงตามลำดับ

$$RVD(V_a, V_b) = 100 \left(\frac{|V_a| - |V_b|}{|V_b|} \right) \quad (2)$$

- 3) Average Symmetric Surface Distance: ASSD คือ ค่าเฉลี่ยของระยะพื้นผิวสมมาตรระหว่างชุดข้อมูล V_a และ V_b สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (5) โดยใช้เทคนิคคำนวณระยะทางยูคลิดจากพื้นผิวของชุดข้อมูล และการประเมินเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดของ Arya และคณะ [7] ดังสมการที่ (3) ถึง (5) ผลลัพธ์ที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) ซึ่งถ้าค่าเฉลี่ยของระยะพื้นผิวสมมาตรที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0 mm แสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากที่สุด หรือถ้าค่าที่คำนวณได้เข้าใกล้ 0 mm มากเท่าใดแสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

$$d(p, S(V_u)) = \min_{u \in S(V_u)} \|p - u\| \quad (3)$$

$$D(A, B) = \sum_{a \in S(A)} d(a, S(B)) \quad (4)$$

$$ASSD(V_a, V_b) = \frac{D(V_a, V_b) + D(V_b, V_a)}{|S(V_a)| + |S(V_b)|} \quad (5)$$

- 4) Root Mean Square Symmetric Surface Distance: RMSD คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของระยะพื้นผิวสมมาตรระหว่างชุดข้อมูล V_a และ V_b สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (6) และ (7) ผลลัพธ์ที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) ซึ่งถ้าค่าเฉลี่ยกำลังสองของระยะพื้นผิวสมมาตรที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0 mm แสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากที่สุด หรือถ้าค่าที่คำนวณได้เข้าใกล้ 0 mm มากเท่าใดแสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

$$E(A, B) = \sum_{a \in S(A)} d^2(a, S(B)) \quad (6)$$

$$RMSD(V_a, V_b) = \sqrt{\frac{E(V_a, V_b) + E(V_b, V_a)}{|S(V_a)| + |S(V_b)|}} \quad (7)$$

- 5) Maximum Symmetric Surface Distance: MSSD คือ ค่ามากที่สุดของระยะพื้นผิวสมมาตรระหว่างชุดข้อมูล V_a และ V_b เป็นที่รู้จักกันที่ใช้ลักษณะเด่นของภาพโดยการวัดความคล้ายกับแม่แบบด้วยเฮาซครอฟติสแทนซ์ [8] สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (8) และ (9) ผลลัพธ์ที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) ซึ่งถ้าค่ามากที่สุดของระยะพื้นผิวสมมาตรที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0 mm แสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากที่สุด หรือค่าที่คำนวณได้เข้าใกล้ 0 mm มากเท่าใดแสดงถึงความสมมาตรของผิวระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

$$F(A, B) = \max_{a \in S(A)} d(a, S(B)) \quad (8)$$

$$MSSD(V_a, V_b) = \max\{F(V_a, V_b), F(V_b, V_a)\} \quad (9)$$

2.4 เทคนิควิธีการแยกพื้นที่ดับจากภาพซีที

วิธีการแยกพื้นที่ดับจากภาพมีเทคนิควิธีที่ถูกนำเสนออยู่หลากหลายวิธี Chen และคณะเสนอการจัดประเภทเทคนิควิธีการแยกพื้นที่ดับจากภาพเป็น 3 ประเภท [9] ดังนี้

- 1) image-based methods หมายถึง เทคนิควิธีที่ใช้ข้อมูลในภาพเท่านั้นเพื่อการประมวลผลการแยกพื้นที่ดับจากภาพ เช่น เทรชโฮลด์, Region growing [10], Morphological operations [11], Active contours [12, 13], Live wire [14], Live wire [15], Watershed [16], Fuzzy connectedness [17], Graph Cuts [18-20] ซึ่งเทคนิควิธีดังกล่าวจะทำให้ผลลัพธ์ที่ดีสำหรับการประมวลผลภาพข้อมูลที่มีคุณภาพสูง
- 2) model-based methods หมายถึง เทคนิควิธีที่ใช้การสร้างแบบจำลองรูปทรงทางสถิติเพื่อการประมวลผลการแยกพื้นที่ดับจากภาพ เช่น statistical active shape modes [21-24], statistical active appearance models [25, 26] ซึ่งเทคนิควิธีดังกล่าวสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีได้ถึงแม้ผลภาพข้อมูลที่น่ามาประมวลผลจะมีคุณภาพไม่สูงมาก
- 3) hybrid methods หมายถึง การนำเทคนิควิธีแบบ image-based และ model-based มาประยุกต์ใช้งานร่วมกันส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ของการประมวลผลที่ดีมากกว่าการใช้ image-based หรือ model-based เพียงอย่างเดียว [9, 27-29]

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีผู้สนใจพัฒนางานวิจัยการแยกพื้นที่ดับจากภาพซีทีมาอย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งนำเสนอเทคนิควิธีที่หลากหลายสำหรับการแยกพื้นที่ดับจากภาพซีที โดยเฉพาะ SLIVER07 เป็นโครงการที่ได้รับความสนใจจากทีมนักวิจัยจำนวนมาก ซึ่ง SLIVER07 จะจัดเตรียมข้อมูลภาพซีทีสำหรับระบบเรียนรู้การแยกพื้นที่ดับไว้ให้จำนวน 20 ภาพ และข้อมูลภาพซีทีสำหรับทดสอบการแยกพื้นที่ดับจำนวน 10 ภาพ โดยอ้างอิงเกณฑ์การประเมินผล VOE, RVD, ASSD, RMSD และ MSSD สำหรับช่วงปี 2007 – 2015 มีผลงานวิจัยที่น่าสนใจดังตารางที่ 4 แสดงพัฒนาการของงานวิจัยการแยกพื้นที่ดับจากภาพซีทีในช่วงเวลาที่ผ่านมา

ตารางที่ 4 สรุปผลการแยกพื้นที่ค้ำที่น่าสนใจจากทีมผู้วิจัยที่เผยแพร่ผลงานในช่วงปี 2007 - 2015

<i>Method</i>	ปีที่ เผยแพร่	<i>VOE</i> (%)	<i>RVD</i> (%)	<i>ASSD</i> (mm)	<i>RMSD</i> (mm)	<i>MSSD</i> (mm)	<i>Runtime</i> (ต่อภาพ)
Kainmüller และคณะ [30]	2007	6.96	-3.57	1.10	2.25	20.95	900.00 s
Wimmer และคณะ [31]	2009	6.47	2.55	1.02	2.00	18.32	180.00 s
Zhang และคณะ [32]	2010	5.25	0.73	0.93	2.23	24.80	360.00 s
Chen และคณะ [9]	2012	6.50	-2.10	1.00	1.80	20.50	360.00 s
G. Li และคณะ [28]	2015	6.24	1.18	1.03	2.11	18.82	284.95 s

ผลลัพธ์ลำดับที่ 1 พื้นหลังสีเหลือง



ผลลัพธ์ลำดับที่ 2 พื้นหลังสีฟ้า

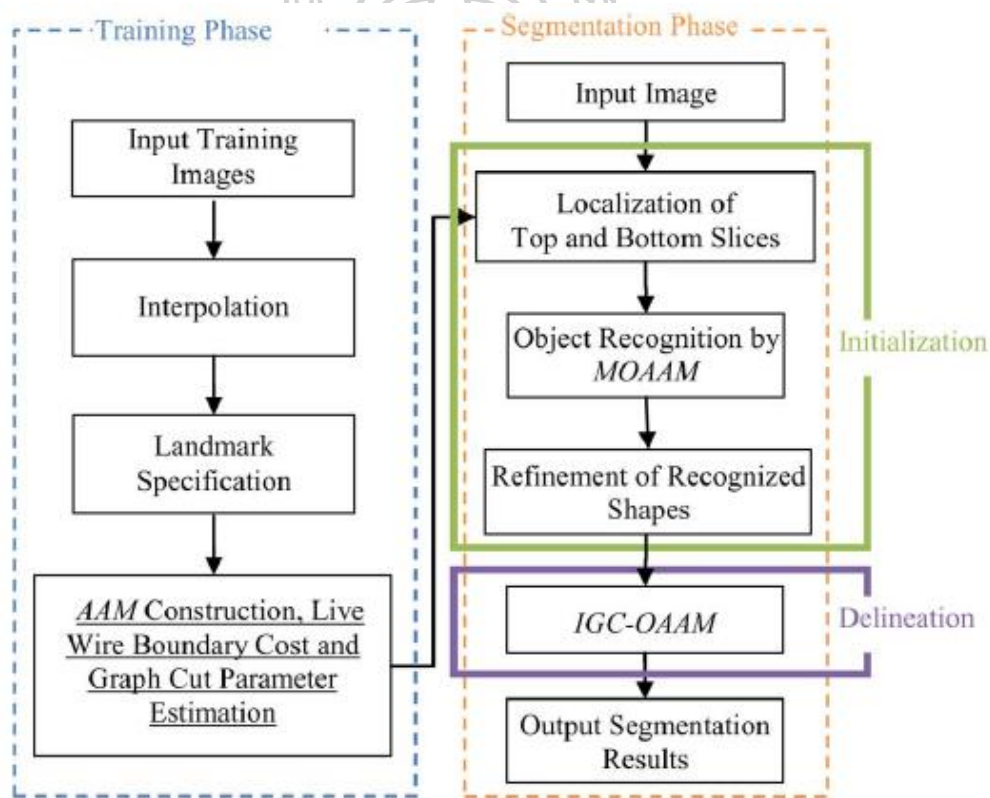


ผลลัพธ์ลำดับที่ 3 พื้นหลังแดง



ปี 2007 Kainmüller และคณะ เสนอวิธี “การแยกพื้นที่ของรูปทรงที่สนใจโดยรูปแบบจำลองทางฮิวริสติก” [30] โดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองรูปทรงทางสถิติด้วย Statistical Shape Model: SSM [33] สำหรับสร้างระบบเรียนรู้รูปแบบพื้นที่ค้ำร่วมกับเทคนิควิธี Surface Parameterization [34] เพื่อใช้สำหรับการแยกพื้นที่ค้ำจากภาพซีทีจำนวน 10 ภาพ ผลการทดสอบดังกล่าวใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยต่อภาพ 15 นาที ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4 ถัดมาในปี 2009 Wimmer และคณะ เสนอวิธี “ความน่าจะเป็นของรูปร่างทั่วไปสำหรับการแยกอวัยวะ” [31] โดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองรูปทรงทางสถิติด้วย Active Shape Models [24, 35] ส่งผลให้สามารถลดเวลาประมวลผลเฉลี่ยต่อภาพลงเหลือ 3 นาที และได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลเฉลี่ยที่ดีขึ้นทุกๆ ข้อเมื่อเทียบกับผลงานของ Kainmüller และคณะ ต่อมาในปี 2010 Zhang และคณะ เสนอวิธี “การแบ่งพื้นที่ค้ำอัตโนมัติโดยใช้รูปร่างแบบจำลองทางสถิติด้วยวิธีการตรวจสอบพื้นผิวที่ดีที่สุด” [35] โดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองรูปทรงทางสถิติด้วย SSM ร่วมกับ 3-D generalized Hough transform (3-D GHT) method [13, 26, 35] ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลเฉลี่ยดีที่สุดในส่วนของ VOE, RVE และ ASSD เมื่อเทียบกับทุก ๆ ผลงานวิจัย แต่ผลของเวลาประมวลผลเฉลี่ยต่อภาพเท่ากับ 6 นาที ดังนั้นเมื่อเทียบเวลาประมวลผลเฉลี่ยงานของ Zhang และคณะ กับงานของ Wimmer และคณะ ซึ่งเป็นผลงานที่ทำเวลาได้ดีที่สุดด้านเวลาการประมวลผลจะเห็นได้ว่างานของ Zhang และคณะ ใช้เวลาเพิ่มขึ้นถึงหนึ่งเท่า

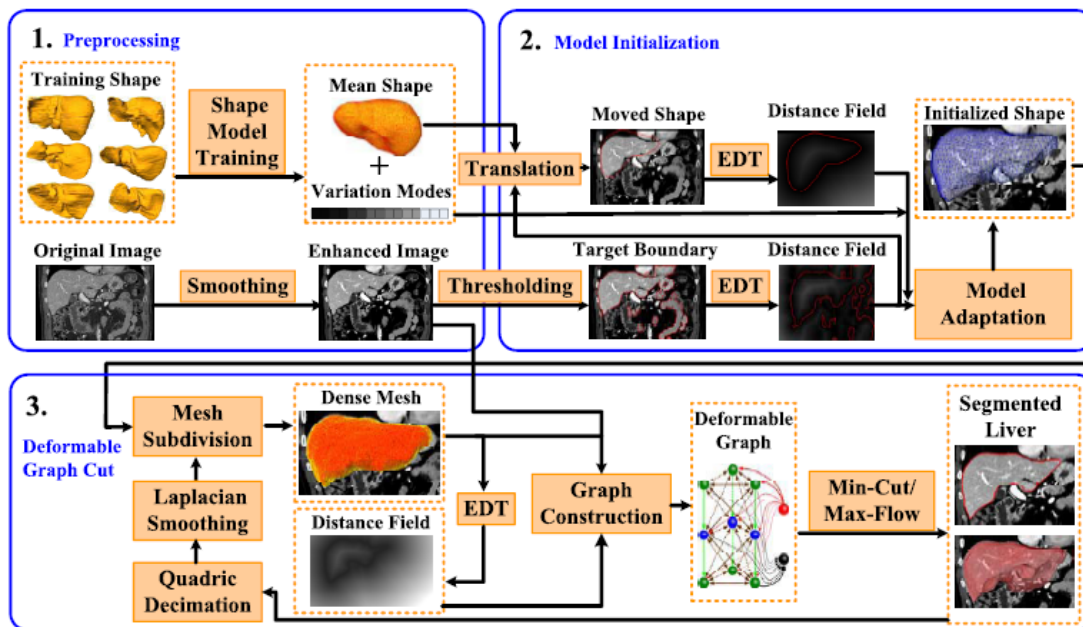
Chen และคณะ[9] เสนอวิธี “การแบ่งส่วนภาพการแพทย์โดยเทคนิควิธี GC และ OAAM” ในปี 2012 ซึ่งเป็นเทคนิควิธีแบบ hybrid methods โดยใช้ Active Appearance Models (AAM) ร่วมกับ Graph Cuts (GC) โดยกำหนดให้ขั้นตอนการเรียนรู้ใช้เทคนิควิธี Active Appearance Models (AAM) ร่วมกับ GC และพัฒนาขั้นตอนการทดสอบโดยใช้ Oriented Active Appearance Models (OAAM) ร่วมกับ GC เรียกว่าระบบ GC-OAAM รายละเอียดขั้นตอนการประมวลผลของระบบ GC-OAAM แสดงดังรูปภาพที่ 6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการระบบ GC-OAAM ได้ผลเฉลี่ยดีที่สุดที่สุดในส่วนของ RMSD เมื่อเทียบกับทุก ๆ ผลงานวิจัยในตารางที่ 4 แต่เมื่อเทียบเวลาประมวลผลเฉลี่ยกับงานของ Wimmer และคณะ[31] ซึ่งเป็นผลงานที่ทำเวลาได้ดีที่สุดด้านเวลาการประมวลผลจะเห็นได้ว่างานของ Chen และคณะ ใช้เวลาเพิ่มขึ้นถึงหนึ่งเท่า



รูปภาพที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลระบบ GC-OAAM

ปี 2015 Li และคณะ[28] เสนอวิธี “การแยกพื้นที่ตับในภาพซีทีแบบอัตโนมัติด้วยรูปแบบที่กำหนดและเทคนิควิธี GC ที่เปลี่ยนรูปร่างได้” โดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองรูปทรงทางสถิติร่วมกับ Graph Cut ซึ่งได้เสนอขั้นตอนการประมวลผลของระบบ 3 ขั้นตอนดังรูปภาพที่ 7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยผลงานที่ Li และคณะ เสนอสามารถลดเวลาประมวลผลเฉลี่ยต่อภาพ

ให้น้อยกว่า 3 นาทีซึ่งดีขึ้นเมื่อเทียบกับผลงานของ Chen และคณะ และประสิทธิภาพของการประมวลผลข้อมูลสามารถทำได้ดีกว่าผลงานของ Chen และคณะ



รูปภาพที่ 7 ขั้นตอนการประมวลผลระบบงานของ Li และคณะ

การพัฒนางานวิจัยการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีที่มีพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง ตามรายละเอียดของงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะมีทีมผู้วิจัยที่สามารถนำเสนอวิธีการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปี 2010 ของ Zhang และคณะ แต่ก็ต้องแลกมาด้วยเวลาที่ใช้สำหรับการประมวลผลที่มากขึ้นหนึ่งเท่าตัวเมื่อเทียบกับผลงานของ Wimmer และคณะ ในปี 2009 ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังมีทีมผู้วิจัยที่พยายามพัฒนางานวิจัยดังกล่าวให้ได้ผลลัพธ์ของการประมวลผลที่ดีและใช้เวลาน้อยลง เช่น งานของ Li และคณะ ในปี 2015 เสนอวิธีที่สามารถลดเวลาประมวลผลได้เมื่อเทียบกับผลงานของ Zhang และคณะ แต่ผลลัพธ์ของการประมวลผลยังดีไม่เท่ากับ Wimmer และคณะ ในปี 2009

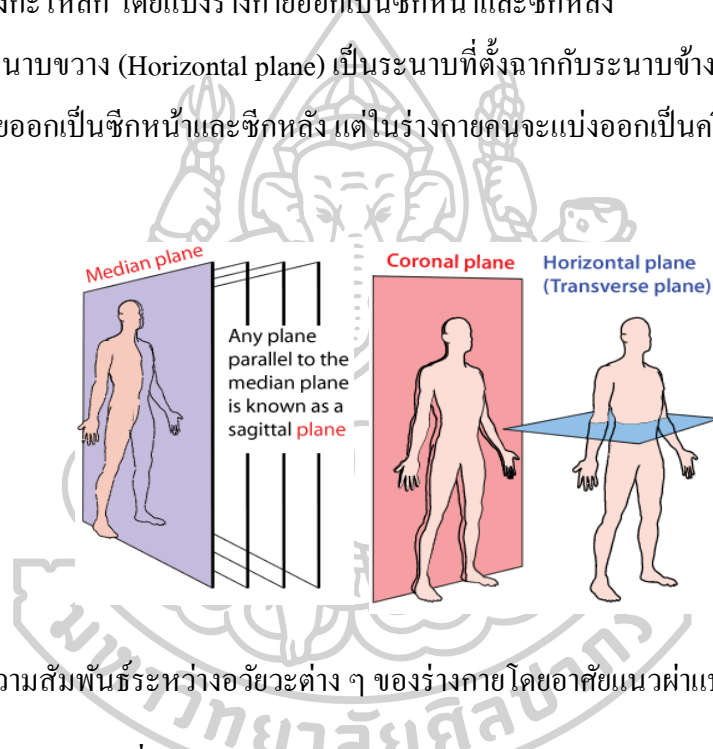
2.5 ระนาบร่างกาย (Body plane)

การกำหนดตำแหน่งและการบอกความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายสำหรับทางการแพทย์ มีการแบ่งระนาบของร่างกายออกเป็น 3 ระนาบแสดงดังรูปภาพที่ 8 รายละเอียดดังนี้

1) ระนาบข้าง (Median plane) หมายถึงระนาบการผ่าแบ่งตามแนวกึ่งกลางร่างกายตามแนวตั้ง โดยแบ่งร่างกายออกเป็นสองซีกขวาและซ้าย

2) ระนาบหน้าหลัง (Coronal plane) หมายถึงระนาบที่แบ่งร่างกายคนตามแนวตั้งตั้งขนานกับรอยต่อของกะโหลก โดยแบ่งร่างกายออกเป็นซีกหน้าและซีกหลัง

3) ระนาบขวาง (Horizontal plane) เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบข้าง และระนาบหลังซึ่งจะแบ่งร่างกายออกเป็นซีกหน้าและซีกหลัง แต่ในร่างกายคนจะแบ่งออกเป็นครึ่งบนและครึ่งล่าง



รูปภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายโดยอาศัยแนวผ่าแบ่งร่างกายตามระนาบ

2.6 การแทนข้อมูลของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ [36, pp. 475–478]

การแทนข้อมูลค่าความเข้มของรังสีที่ได้จากหัววัดรังสีของเครื่องซีทีใช้หลักการแทนค่าด้วย μ จากสมการที่ (10) ให้เป็นค่า CT_v

$$I(\eta) = I_0 e^{-\mu\eta} \quad (10)$$

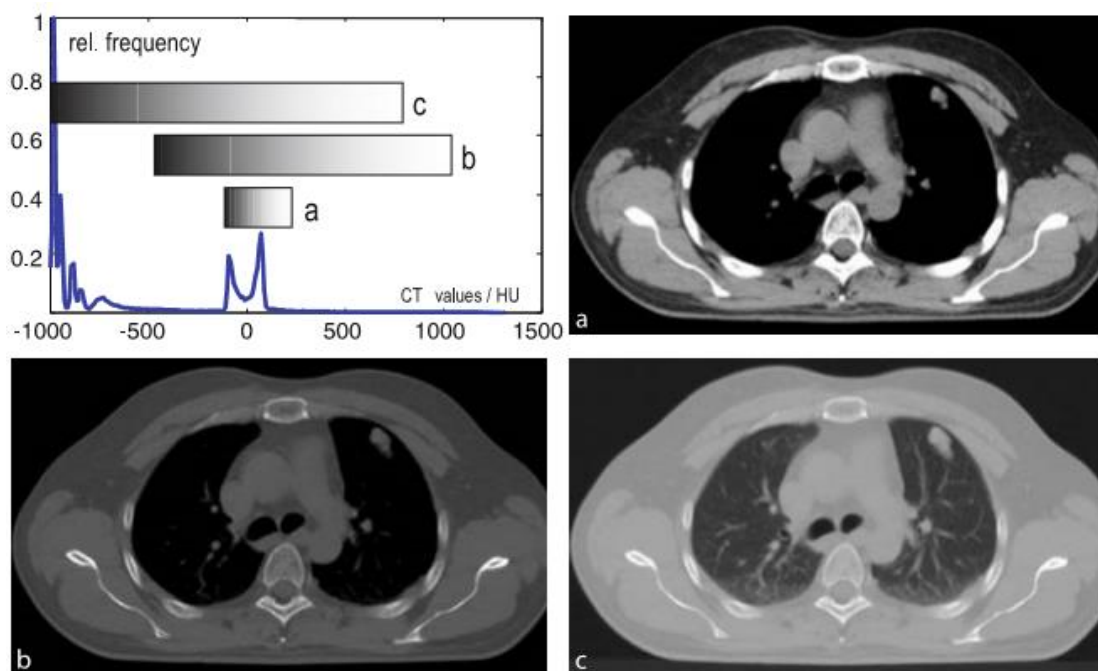
ซึ่งค่า CT_v ดังกล่าวจะนำมาใช้แทนค่าความหนาแน่นของวัตถุ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปเรียกหน่วยของค่าดังกล่าวว่าค่าเฮซชู (Hounsfield unit :HU) เพื่อเป็นเกียรติแก่แฮนส์ฟิลด์

$$CT_v = \frac{\mu - \mu_w}{\mu_w} 1000 \quad (11)$$

สมการที่ (11) การคำนวณหาค่า CT_v จะดำเนินการโดยอ้างอิงเทียบกับค่าความหนาแน่นของน้ำ μ_w ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ μ มีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นของน้ำจะได้ค่า CT_v เท่ากับ 0 HU และเมื่อ μ มีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นของอากาศจะได้ค่า CT_v เท่ากับ -1000 HU ซึ่งค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อต่าง ๆ เมื่อกำหนดตามสูตรแล้วจะได้ข้อมูลอยู่ระหว่าง -1000 HU ถึง +1000 HU หรือค่าสูงสุดอาจมากกว่า +1000 HU ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าของผู้ผลิตเครื่องซีทีแต่ละราย อย่างไรก็ตามสำหรับการมองเห็นของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของค่าสีเทาในช่วงกว้าง ๆ ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติการนำค่าเอชยูไปใช้แสดงผลข้อมูลจึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลค่าเอชยูให้อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ โดยภาพที่แสดงผลจะเป็นภาพเกรดสีเทา (Gray image) ซึ่งเกรดสีเทาเป็นค่าความสว่างหรือความเข้มที่มีค่าตั้งแต่ 0 - 255 (0 คือระดับความสว่างน้อยสุด และ 255 คือระดับความสว่างมากที่สุด) ดังสมการที่ (12) แทนค่าความสว่างของจุดบนภาพด้วย P และกำหนดให้ P_w คือ ความกว้างของช่วงข้อมูลที่สนใจ P_L คือ ตำแหน่งค่าเฉลี่ยของวัตถุที่สนใจ

$$P = 511 \cdot \begin{cases} 0 & \text{for } CT_v \leq P_L - \frac{P_w}{2} \\ \frac{(CT_v - P_L + \frac{P_w}{2})}{P_w} & \\ 1 & \text{for } CT_v \geq P_L + \frac{P_w}{2} \end{cases} \quad (12)$$

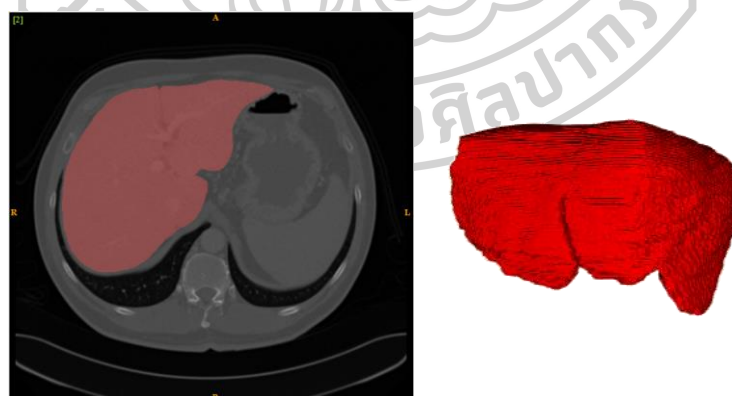
ตัวอย่างวิธีการประมวลผลค่าซีทีให้เป็นภาพเกรดสีเทา ดังรูปภาพที่ 9 (a) กำหนดให้ $P_w = +350$ HU, $P_L = +50$ HU, (b) กำหนดให้ $P_w = 1500$ HU, $P_L = +300$ HU และ (c) กำหนดให้ $P_w = 2000$ HU, $P_L = -200$ HU



รูปภาพที่ 9 แสดงภาพค่าความหนาแน่นของ (a) เนื้อเยื่ออ่อน (b) กระดูก และ (c) ปอด

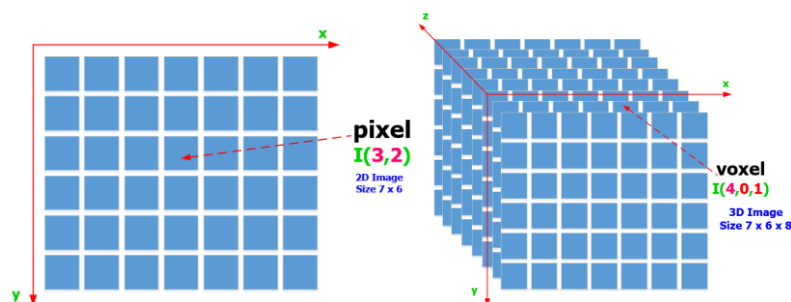
2.7 การแสดงผลจากค่าซีที

การแสดงผลที่ได้จากค่าซีทีจะแสดงผลภาพ 2 มิติ หรือภาพ 3 มิติ ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่นำไปใช้ ตัวอย่างภาพการแยกพื้นที่ดับ 2 มิติ และ 3 มิติ ดังรูปภาพที่ 10



รูปภาพที่ 10 ภาพการแยกพื้นที่ดับแสดงผลภาพแบบ 2 มิติ และแสดงผลภาพแบบ 3 มิติ

สำหรับระบบการแสดงผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์อาศัยหลักการของค่าความเข้ม หรือ ค่าความสว่างของแสง และค่าตำแหน่งเชิงพื้นที่ โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้ดังนี้ ฟังก์ชันภาพ 2 มิติ คือ $I(x, y)$ และฟังก์ชันภาพ 3 มิติ คือ $I(x, y, z)$ เมื่อกำหนดให้ x, y และ z เป็นค่าจำนวนเต็มเพื่อใช้สำหรับระบุตำแหน่งเชิงพื้นที่ แสดงดังรูปภาพที่ 11 โดย I เป็นฟังก์ชันที่ใช้บอกค่าค่าความเข้ม หรือ ค่าความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งของจุดภาพ ในภาพ 2 มิติ เรียกว่าพิกเซล (pixel) และภาพ 3 มิติ เรียกว่า ว็อกเซล (voxel)



รูปภาพที่ 11 แสดงการอ้างอิงถึงข้อมูลในภาพ 2 มิติ และ ภาพ 3 มิติ ด้วยฟังก์ชัน I

จุดภาพเป็นหน่วยพื้นฐานของภาพซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในภาพ ซึ่งภาพแต่ละภาพจะประกอบด้วยกลุ่มของจุดภาพจำนวนมาก และมีความหนาแน่นของจุดภาพที่แตกต่างกันไป สำหรับข้อมูลที่ได้จากเครื่องซีทีเป็นข้อมูล 3 มิติ ขนาด $M \times N \times P$ ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ของว็อกเซลในภาพได้ดังสมการที่ (13)

$$I(x, y, z) = \begin{bmatrix} I(0, 0, 0) & I(1, 0, 0) & \dots & I(N-1, 0, 0) \\ I(0, 1, 0) & I(1, 1, 0) & \dots & I(N-1, 1, 0) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(0, M-1, 0) & I(1, M-1, 0) & \dots & I(N-1, M-1, 0) \\ \\ I(0, 0, 1) & I(1, 0, 1) & \dots & I(N-1, 0, 1) \\ I(0, 1, 1) & I(1, 1, 1) & \dots & I(N-1, 1, 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(0, M-1, 1) & I(1, M-1, 1) & \dots & I(N-1, M-1, 1) \\ \\ I(0, 0, P-1) & I(1, 0, P-1) & \dots & I(N-1, 0, P-1) \\ I(0, 1, P-1) & I(1, 1, P-1) & \dots & I(N-1, 1, P-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(0, M-1, P-1) & I(1, M-1, P-1) & \dots & I(N-1, M-1, P-1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

กำหนดให้ ฟังก์ชัน $I(x, y, z)$ แสดงถึงความเข้มของแสง ณ ตำแหน่ง (x, y, z) ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นกับจำนวนของบิต (Bits) ที่ใช้แทนค่าในแต่ละภาพ ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าใช้ 8 บิต ในการแทนแต่ละว็อกเซลจะได้ค่าที่ใช้แทนค่าความเข้มของแสงเป็น 2^8 หรือ 256 ค่า

2.8 การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) [37]

การเรียนรู้ของเครื่องจักร คือ การทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้จากการจดจำข้อมูลทาวสถิติ โดยการเขียนโปรแกรม ให้คอมพิวเตอร์มีการปรับตัว ประมวลผลเพื่อสร้างเงื่อนไข ตัดสินใจต่าง ๆ จนในที่สุดคอมพิวเตอร์ก็จะฉลาดพอที่จะทำการตัดสินใจบนข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยได้เห็นมาก่อนได้

2.8.1 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึก เป็นเซตย่อยของ Machine Learning หรือการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ซึ่งเป็นลำดับชั้นของเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยดำเนินการด้วย Machine Learning เนื่องจากเครือข่ายประสาทเทียมถูกสร้างมาเหมือนสมองของมนุษย์มี Nodes เชื่อมต่อกันเหมือนเว็บไซต์ แม้ว่าโปรแกรมแบบเก่าจะสร้างการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้น โดยฟังก์ชันลำดับชั้นของระบบ Deep Learning ช่วยให้เครื่องประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีการไม่ใช่เชิงเส้น ซึ่งเป็นเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมในการทำธุรกรรมที่เสี่ยงต่อการหลอกลวงจะประกอบด้วยเวลา, ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์, IP address, ประเภทของธุรกิจค้าปลีก และคุณลักษณะอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดวิธีการหลอกลวงจากบุคคลที่ 3 นอกจากนี้การเรียนรู้เชิงลึกยังถูกนำมาใช้ในทุกอุตสาหกรรม สำหรับงานที่มีความแตกต่างกันจำนวนมาก ทั้ง Facebook ที่แยกความแตกต่างของใบหน้า เพื่อใช้ติดแท็กเพื่อนในรูปภาพ หรือแอปพลิเคชัน e-commerce ที่ใช้จดจำภาพ และอื่น ๆ

2.8.2 นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks : CNN)

นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชันเป็นนิวรอลเน็ตเวิร์กเชิงลึกรูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างเฉพาะตัวตัวอย่างดังรูปภาพที่ 12 โดยถูกออกแบบมาเพื่อการเพิ่มความสามารถในการสกัดเอา feature ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นจากข้อมูล โดย CNN นั้นตอบโจทย์ปัญหาประเภทการรับรู้ (perceptual tasks) อย่างมาก CNN นั้น มักจะถูกใช้เพื่อการสกัด feature จากข้อมูลประเภทที่ไม่ค่อยเป็นระเบียบหรือไม่ได้มีโครงสร้างเป็นรูปแบบเฉพาะตัว (unstructured data) อย่างเช่นรูปภาพ (image) จุดเด่นของ CNN คือ local feature เป็นส่วนหนึ่งของ Neural Network ที่จะถูกปรับไปพร้อม ๆ กับส่วน classifier ดังนั้นหลังจากการ train เราจะได้ feature extractor ที่เหมาะสมกับงาน local feature เหล่านี้ถูก applied ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนรูปนำเข้า (เป็นการทำ

weight sharing แบบหนึ่ง) ดังนั้นเมื่อเรากำหนดเกรเดียนต์ย้อนกลับ เราต้องทำการรวมค่าที่ได้จากตำแหน่งทั้งหมดนี้ด้วย ดังนั้นขนาด (amplitude) ของค่าที่ได้จึงมีขนาดใหญ่พอในการปรับ kernel เหล่านี้ที่มักอยู่ใน layer ต่างๆ

ตารางที่ 5 โครงสร้าง CNN ในรูปแบบต่าง ๆ

ปี ค.ศ.	ผู้พัฒนา	ชื่อ โครงสร้าง	จำนวนพารามิเตอร์	อัตราข้อผิดพลาด 5 อันดับแรก
1998	Yann LeCun และคณะ	LeNet	6 หมื่น	-
2012	Alex Krizhevsky, Geoffrey	AlexNet	60 ล้าน	15.3%
2013	Matthew Zeiler and Rob Fergus	ZFNet	-	14.8%
2014	Google	GoogleLeNet	4 ล้าน	6.67%
2014	Simonyan and Zisserman	VGG Net	138 ล้าน	7.3%
2015	Kaiming He และคณะ	ResNet	-	3.6%

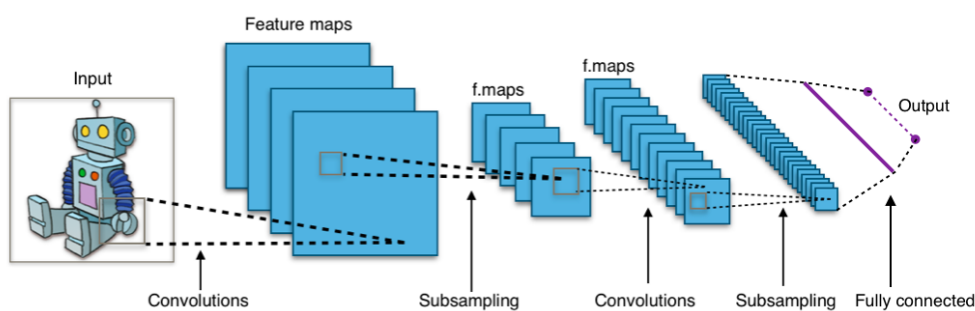
1) สถาปัตยกรรม CNN แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- **Convolutional Layer** เป็นหน่วยการสร้างหลักของ CNN พารามิเตอร์ของเลเยอร์ประกอบด้วยชุดของตัวกรองที่เรียนรู้ได้ (kernels) ซึ่งมีฟิลต์รับข้อมูลขนาดเล็ก แต่ขยายผ่านระดับความลึกเต็มรูปแบบของระดับอินพุต ในระหว่างการไปข้างหน้าผ่านแต่ละตัวกรอง convolved ข้ามผ่านความกว้างและความสูงของปริมาณการป้อนข้อมูล การคำนวณ dot producing ระหว่างรายการของตัวกรองและการป้อนข้อมูลและแบบ 2 มิติที่ยืนยันการใช้งานของตัวกรองที่เป็นผลให้เครือข่ายเรียนรู้ที่ตัวกรองที่เปิดใช้งานเมื่อตรวจพบประเภทเฉพาะบางส่วนของคุณสมบัติในบางตำแหน่งเชิงพื้นที่

- **Pooling Layer** ทำหน้าที่ลดขนาดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง โดยที่รายละเอียดของอินพุตยังคงครบถ้วนเหมือนเดิม pooling มีประโยชน์ในเรื่องการเพิ่มความไวในการคำนวณและแก้ปัญหา overfitting การ pooling มีสองประเภทหลักที่นิยมกัน คือ max pooling และ mean pooling เป็นตัวกรองแบบหนึ่งที่ทำค่าสูงสุดในบริเวณที่ตัวกรองทาบอยู่มาเป็นผลลัพธ์ โดยจะเตรียมตัวกรองในลักษณะเดียวกับการทำ Feature Extraction ของ CNN มาทาบบนข้อมูลแล้วเลือกค่าที่สูงที่สุดบนตัวกรองนั้นมาเป็น

ผลลัพธ์ใหม่ และจะเลื่อนตัวกรองไปตาม Stride ที่กำหนดไว้ โดยขนาดตัวกรองของการทำ max pooling จะนิยมเรียกกันว่า pool size

- **Fully Connected Layer** คือ เลเยอร์ที่เชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์จะเชื่อมต่อทุกเซลล์ประสาทในชั้นหนึ่งกับทุกเซลล์ในอีกชั้นหนึ่ง มีหลักการเหมือนกันกับโครงข่ายประสาทหลายชั้นแบบดั้งเดิม (MLP) เมทริกซ์ที่แบน (flattened matrix) จะผ่านเลเยอร์ที่เชื่อมต่อเต็มทีเพื่อจัดประเภทภาพ



รูปภาพที่ 12 สถาปัตยกรรมของ CNN¹⁰

2.8.3 U-Net [38]

สถาปัตยกรรม U-Net ถูกสร้างขึ้นบนเครือข่ายแบบ Fully Convolutional Network และมีการปรับเปลี่ยนในส่วนของการแบ่งส่วน (segmentation) ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นสำหรับภาพถ่ายทางการแพทย์ เมื่อเปรียบเทียบกับ FCN-8 ความแตกต่างที่สำคัญสองประการคือ U-Net มีความสมมาตรและ การข้ามการเชื่อมต่อระหว่าง Downsampling path และ Upsampling path โดยใช้ตัวดำเนินการเชื่อมต่อแทนการรวมกัน การข้ามการเชื่อมต่อเหล่านี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ local information กับ global information ในขณะที่ Upsampling เนื่องจากความสมมาตรเครือข่ายจึงมีพีเจอร์แมปจำนวนมากใน Upsampling path ซึ่งช่วยให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้ จากการเปรียบเทียบสถาปัตยกรรม FCN ขึ้นพื้นฐานมีเพียงจำนวนชั้นของคุณสมบัติแผนที่ใน Upsampling path สถาปัตยกรรม U-Net แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1) Contracting / Downsampling path

Contracting / Downsampling path ประกอบด้วย 3 บล็อก แต่ละบล็อกประกอบด้วย

¹⁰ <https://adventuresinmachinelearning.com/convolutional-neural-networks-tutorial-tensorflow/>

- 3x3 Convolution Layer + activation function (พร้อมชุด batch normalization)
- 3x3 Convolution Layer + activation function (พร้อมชุด batch normalization)
- 2x2 Max Pooling

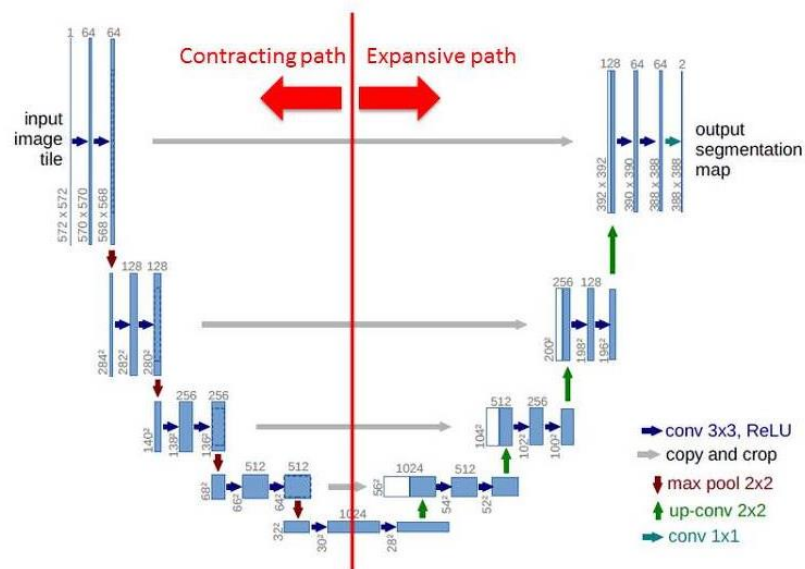
2) Bottleneck

ส่วนหนึ่งของเครือข่ายนี้อยู่ระหว่าง contracting paths และ expansive paths โดย bottleneck ถูกสร้างขึ้นจาก convolutional layer จำนวน 2 เลเยอร์ (พร้อมชุด batch normalization) กับ dropout

3) Expanding / Upsampling path

Expanding / Upsampling path ประกอบด้วย 4 บล็อก แต่ละบล็อกประกอบด้วย

- Deconvolution layer กับ stride 2
- การเชื่อมต่อข้อมูลที่ถูกครอบตัดที่สอดคล้องกันจาก feature map กับ contracting path
- 3x3 Convolution layer + activation function (และ batch normalization)
- 3x3 Convolution layer + activation function (และ batch normalization)



รูปภาพที่ 13 ตัวอย่างสถาปัตยกรรมของ U-Net¹¹

¹¹ <https://lmb.informatik.uni-freiburg.de/people/ronneber/u-net/>

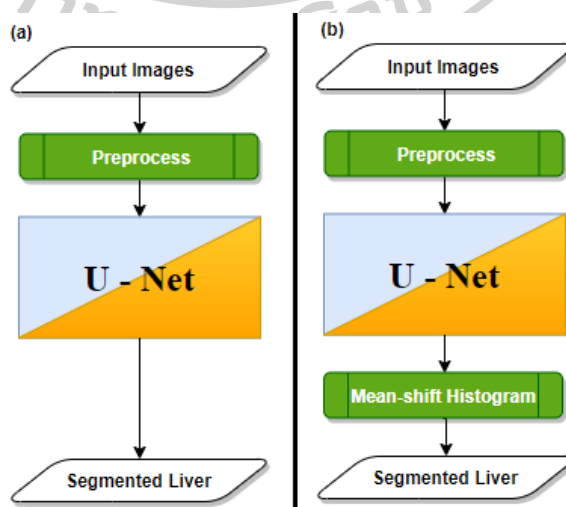
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อสร้างระบบการแยกพื้นที่ตับจากภาพถ่ายซีที โดยมีสมมติฐานที่ขับเคลื่อนงานวิจัย คือ การใช้กลไกทางสถิติเกี่ยวกับค่าเอชยู ร่วมกับการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์จะทำให้การประมาณค่าเอชยู ของตับเป็นไปอย่างแม่นยำ และการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย (Mean-Shift Clustering) จะช่วยให้เราหาพื้นที่ ๆ คาดว่าเป็นพื้นที่ที่ตับได้รวดเร็ว เหมาะกับการนำไปปรับใช้เพื่อหาพื้นที่ ๆ ต้องการได้อย่างแม่นยำสูง จากการตั้งสมมติฐานดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปภาพที่ 14 (a) ภาพขั้นตอนการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง และรูปภาพที่ 14 (b) เพิ่มการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย (Mean-Shift Clustering) ในขั้นตอนแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์สถาปัตยกรรม U-Net ที่ออกแบบให้มีกลไกการเรียนรู้เชิงลึกที่ผู้วิจัยนำมาปรับเพิ่มจำนวนชั้นของการเรียนรู้ให้มากขึ้นจากสถาปัตยกรรม U-Net ดั้งเดิมจากงานวิจัยก่อนหน้า และปรับเพิ่มให้มี Dropout Layer (DP) และ Batch Normalization (BN) ในแต่ละชั้นของการเรียนรู้ดังรูปภาพที่ 16 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่นำมาปรับใช้ในงานวิจัย



รูปภาพที่ 14 ภาพซ้ายการประยุกต์ใช้ U-Net และภาพขวาเพิ่มการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยติดตั้งระบบซอฟต์แวร์ต่าง ๆ บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายโดยมีรายละเอียดคุณสมบัติดังนี้

3.2.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบซอฟต์แวร์

1) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

- หน่วยประมวลผล Intel(R) Xeon(R) 16 Core ความเร็ว 2.6 GHz
- หน่วยความจำ 180 GB
- ฮาร์ดดิสก์เก็บข้อมูลขนาดความจุ 6 TB

2) การ์ดหน่วยประมวลผลด้านกราฟฟิก (GPU) GEFORCE RTX 2080 Ti

- RTX-OPS 78T
- Boost Clock 1635 MHz (OC)
- Frame Buffer 11GB GDDR6
- Memory Speed 14 Gbps

3.2.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

- 1) ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) Ubuntu Server LTS เวอร์ชัน 16.04.6
- 2) โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม (Docker) เวอร์ชัน 18.09.2 และ CUDA Toolkit 9.0
- 3) โปรแกรมพัฒนาชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ใช้ Jupyter Notebook และ โปรแกรม Python 3
- 4) โปรแกรม Deep Learning Library ใช้ Tensorflow V. 1.13 และ Keras V. 2.2.4

3.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษานำมาจากฐานข้อมูลการแข่งขัน Segmentation of the Liver 2007 (SLIVER07) ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนภาพซีทีในช่องท้อง 20 ภาพรายละเอียดของภาพซีทีดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการเตรียมข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลรายละเอียดของภาพซีทีจำนวน 20 ภาพจาก SLIVER07

รหัส			จำนวน Slice		ค่าความละเอียดแนวแกน (mm.)		
กลุ่ม	fold	ภาพซีที	หึ่งภาพ	ดับ	Horizontal	Coronal	Median
1	1	DB01104	212	144	1.00	0.71	0.71
1	2	DB01105	319	175	1.00	0.58	0.58
1	3	DB01119	335	222	0.70	0.61	0.61
1	4	DB01102	64	59	3.00	0.63	0.63
2	1	DB01107	251	176	1.00	0.81	0.81
2	2	DB01108	228	190	1.00	0.66	0.66
2	3	DB01113	145	112	1.25	0.70	0.70
2	4	DB01106	111	78	2.00	0.67	0.67
3	1	DB01109	210	177	1.00	0.75	0.75
3	2	DB01110	191	182	1.00	0.59	0.59
3	3	DB01120	183	71	2.50	0.70	0.70
3	4	DB01101	183	109	1.50	0.74	0.74
4	1	DB01111	388	178	1.00	0.59	0.59
4	2	DB01112	220	178	1.00	0.70	0.70
4	3	DB01114	129	39	5.00	0.72	0.72
4	4	DB01116	151	143	1.50	0.74	0.74
5	1	DB01115	394	150	1.00	0.59	0.59
5	2	DB01118	245	208	1.00	0.74	0.74
5	3	DB01117	121	97	2.00	0.68	0.68
5	4	DB01103	79	62	3.00	0.76	0.76

3.3.1 การเพิ่มจำนวนข้อมูล (Data Augmentation) ด้วยการปรับค่าความละเอียดวีอกเซลของภาพซีทีให้เพิ่มขึ้นและลดลง จำนวน 11 ชุด แสดงผลจำนวนภาพที่เพิ่มขึ้นจาก 4,159 ชิ้น (Slice) เป็น 68,107 ชิ้น และจำนวนภาพที่มีพื้นที่ดับเดิม 2,750 ชิ้น เป็น 43,105 ชิ้น รายละเอียดดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8 ตามลำดับ คอลัมน์ SR0 หมายถึงจำนวนชิ้นของภาพจากค่าความละเอียดเดิมตามตารางที่ 3.1 คอลัมน์ SR1 หมายถึงจำนวนชิ้นของภาพจากการปรับค่าความละเอียดของ วีอกเซลเป็น 1.00 x 1.00 x 1.00 mm. และ คอลัมน์ +0.xx หรือ -0.xx หมายถึงการปรับค่าความละเอียดโดยเทียบกับคอลัมน์ SR1 เช่น +0.30 จะเป็น SR1+0.30 จะได้ค่าความละเอียดเป็น 1.30 mm. ดังนั้นจะเป็นการปรับความละเอียดของวีอกเซลเป็น 1.30 x 1.30 x 1.30 mm. เป็นต้น

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนภาพข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าความละเอียดวีโอกเซล

รหัส		จำนวน slice ของภาพซีทีที่ความละเอียด 1± มิลลิเมตร												
กลุ่ม	ภาพซีที	SR0	SR1	+0.30	+0.25	+0.20	+0.15	+0.10	-0.10	-0.15	-0.20	-0.25	-0.30	รวม
1	DB01104	212	212	163	170	177	184	193	236	249	265	283	303	2,647
1	DB01105	319	319	245	255	266	277	290	354	375	399	425	456	3,980
1	DB01119	335	234	180	188	195	204	213	261	276	293	313	335	3,027
1	DB01102	64	192	148	154	160	167	175	213	226	240	256	274	2,269
2	DB01107	251	251	193	201	209	218	228	279	295	314	335	359	3,133
2	DB01108	228	228	175	182	190	198	207	253	268	285	304	326	2,844
2	DB01113	145	181	139	145	151	158	165	201	213	227	242	259	2,226
2	DB01106	111	222	171	178	185	193	202	247	261	278	296	317	2,661
3	DB01109	210	210	162	168	175	183	191	233	247	262	280	300	2,621
3	DB01110	191	191	147	153	159	166	174	212	225	239	255	273	2,385
3	DB01120	183	458	352	366	381	398	416	508	538	572	610	654	5,436
3	DB01101	183	274	211	220	229	239	250	305	323	343	366	392	3,335
4	DB01111	388	388	298	310	323	337	353	431	456	485	517	554	4,840
4	DB01112	220	220	169	176	183	191	200	244	259	275	293	314	2,744
4	DB01114	129	645	496	516	538	561	586	717	759	806	860	921	7,534
4	DB01116	151	226	174	181	189	197	206	252	266	283	302	324	2,751
5	DB01115	394	394	303	315	328	343	358	438	464	492	525	563	4,917
5	DB01118	245	245	188	196	204	213	223	272	288	306	327	350	3,057
5	DB01117	121	242	186	194	202	210	220	269	285	302	323	346	2,900
5	DB01103	79	237	182	190	198	206	215	263	279	296	316	339	2,800
รวม		4,159	5,569	4,282	4,458	4,642	4,843	5,065	6,188	6,552	6,962	7,428	7,959	68,107

ตารางที่ 8 แสดงจำนวนภาพข้อมูลที่มีพื้นที่ตัดที่เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าความละเอียดวีโอกเซล

Slice Resolution		จำนวน slice ของภาพซีทีที่มีพื้นที่ตัดที่ความละเอียด 1± มิลลิเมตร												
GId	Image Id	SR0	SR1	+0.30	+0.25	+0.20	+0.15	+0.10	-0.10	-0.15	-0.20	-0.25	-0.30	รวม
1	DB01104	144	143	110	116	120	124	132	160	169	180	192	205	1,795
1	DB01105	175	175	134	140	146	152	160	194	206	219	233	250	2,184
1	DB01119	222	155	119	125	129	135	141	173	182	194	207	222	2,004
1	DB01102	59	177	136	142	148	154	162	196	208	222	236	252	2,092
2	DB01107	176	176	135	140	147	153	160	195	207	220	235	252	2,196
2	DB01108	190	190	146	152	159	165	173	211	223	237	253	272	2,371
2	DB01113	112	140	107	112	117	122	127	155	164	175	186	200	1,717
2	DB01106	78	156	120	125	130	135	142	173	183	195	208	223	1,868
3	DB01109	177	177	137	141	148	154	161	196	208	221	236	252	2,208
3	DB01110	182	182	140	145	151	158	165	202	214	227	242	260	2,268
3	DB01120	71	178	137	142	148	155	161	197	209	222	237	254	2,111
3	DB01101	109	164	125	131	136	142	149	182	193	204	218	234	1,987
4	DB01111	178	178	136	142	148	155	162	198	209	222	237	254	2,219
4	DB01112	178	178	136	142	148	154	161	197	209	222	237	254	2,216
4	DB01114	39	195	150	156	163	169	178	217	230	244	260	278	2,279
4	DB01116	143	214	165	172	179	187	195	238	252	268	286	307	2,606
5	DB01115	150	150	115	119	124	130	136	166	176	187	199	214	1,866
5	DB01118	208	208	160	166	173	181	189	231	245	260	278	297	2,596
5	DB01117	97	194	149	155	162	168	176	215	229	243	259	277	2,324
5	DB01103	62	186	143	149	155	161	169	207	219	233	248	266	2,198
รวม		2,750	3,516	2,700	2,812	2,931	3,054	3,199	3,903	4,135	4,395	4,687	5,023	43,105

3.3.2 การปรับค่าเอชยู (Hounsfield Unit) เป็นการนอร์มัลไลเซชันค่าเอชยูภาพซีทีที่จำนวนเต็มระหว่าง -1024 ถึง N ให้เป็นค่าจำนวนจริงด้วยฟังก์ชัน NCDF ซึ่งประยุกต์จากสมการการแจกแจงปรกติแบบ Cumulative Distribution Function (CDF) โดยการแทนค่า x ด้วย v'_i ในสมการที่ (19) ซึ่งกำหนดให้ V เป็นเซตของวีโอกเซลภาพซีทีเขียนแทนด้วยสมการที่ (14) และ V' เป็นเซตของวีโอกเซลที่กำหนดให้ค่า $v'_i = v_i - \min(V)$ ดังสมการที่ (15)

$$V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_N \mid v_i \in [-1024, L]\} \quad (14)$$

$$V' = \{v'_0, v'_1, v'_2, \dots, v'_N \mid v'_i \in [0, \max(V) - \min(V)]\} \quad (15)$$

$$M(x, \mu, m) = \begin{cases} \mu + m & \text{if } x > \mu + m \\ \mu - m & \text{if } x < \mu - m \\ x & \text{Other} \end{cases} \quad (16)$$

$$N(x, m_1, m_2) = (x - m_1)/(m_2 - m_1) \quad (17)$$

$$C(x, \mu, \sigma) = 1/(1 + e^{-(x-\mu)/\sigma}) \quad (18)$$

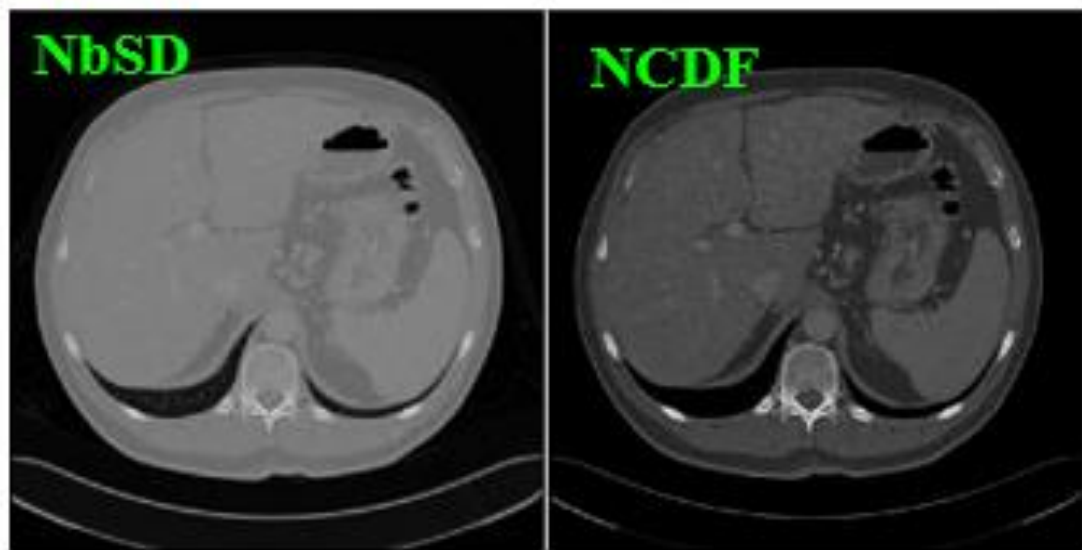
$$N_{cdf}(x, \mu, \sigma, m) = N \left(\begin{array}{c} C(M(x, \mu, m), \mu, \sigma), \\ C(\mu - m, \mu, \sigma), \\ C(\mu + m, \mu, \sigma) \end{array} \right) \quad (19)$$

$$N_{bsd}(x, \mu, m) = (x - \text{mean}(N_{bsd}(V', \mu, m))) \cdot \left(\frac{1}{\text{std}(N_{bsd}(V', \mu, m))} \right) \quad (20)$$

กำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- x เป็นค่าเอชยูของแต่ละว็อกเซลในภาพซีทีแต่ละภาพ
- μ เป็นค่าเอชยูของอวัยวะเป้าหมายในภาพซีทีแต่ละภาพ
- σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเอชยู
- m_1 เป็นค่าเอชยูน้อยสุดของช่วงค่าที่ต้องการ
- m_2 เป็นค่าเอชยูน้อยสุดของช่วงค่าที่ต้องการ
- m เป็นค่าของขนาดของช่วงค่าเอชยูที่ต้องการได้จาก $m_2 - m_1$

การนอร์มัลไลเซชันค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NbSD ซึ่งประยุกต์มาจากสมการการแจกแจงปกติแบบ Zero Mean and One Standard Normal Distribution โดยการแทนค่า x ด้วย v'_i ในสมการที่ (20) แสดงตัวอย่างผลการปรับข้อมูลภาพด้วยฟังก์ชัน NbSD และ NCDF ดังรูปภาพที่ 15 ภาพซ้ายภาพซีทีปรับค่าเอชยูด้วยสมการที่ (20) และภาพขวาภาพซีทีปรับค่าเอชยูด้วยสมการที่



รูปภาพที่ 15 ภาพซ้ายภาพซีทีที่ปรับค่าเอชยูด้วยสมการที่ (20) และภาพขวาภาพซีทีที่ปรับค่าเอชยูด้วยสมการที่ (19)

3.4 สถาปัตยกรรม U-Net

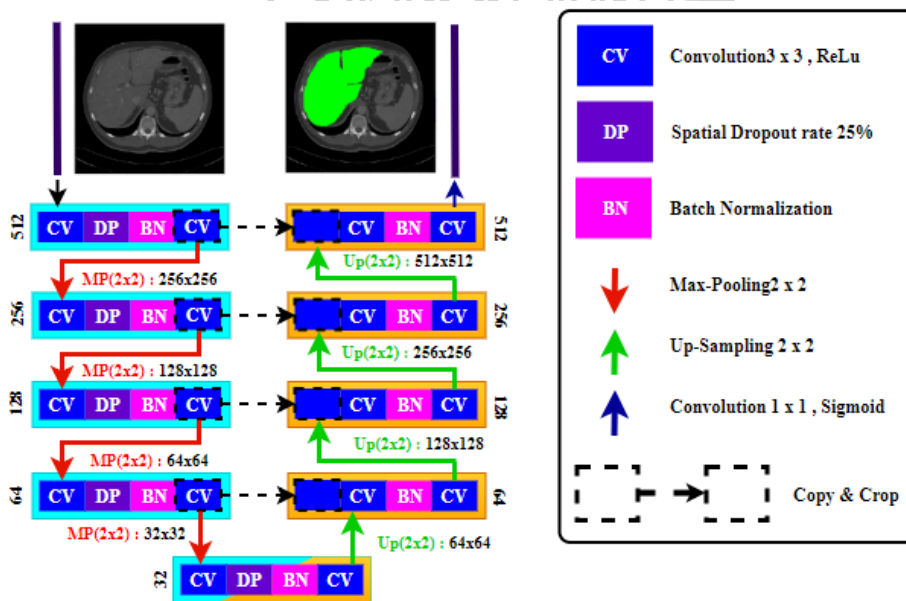
สถาปัตยกรรม U-Net ที่ออกแบบให้มีกลไกการเรียนรู้เชิงลึกที่ผู้วิจัยนำมาปรับเพิ่มจำนวนชั้นของการเรียนรู้ให้มากขึ้นจากงานวิจัยก่อนหน้า พร้อมทั้งปรับเพิ่มให้มี DP และ BN ในแต่ละชั้นของการเรียนรู้เพิ่มเติมแสดงดังรูปภาพที่ 16 ซึ่งผู้วิจัยได้สร้าง โมเดล U-Net ดังกล่าวด้วยโปรแกรม Deep Learning Library ใช้ Tensorflow และ Keras มีพารามิเตอร์จำนวนทั้งสิ้น 7,861,697 พารามิเตอร์รายละเอียดโมเดลดัง

ตารางที่ 9 และตารางที่ 10 สำหรับขั้นตอนการฝึกสอน โมเดลผู้วิจัยเลือกใช้ Nadam Optimizers และกำหนดค่าพารามิเตอร์ Optimizers เป็นดังนี้ lr=14e-5, beta_1=0.9, beta_2=0.999, epsilon=1e-7, schedule_decay=4e-3 ใช้ Soft Dice loss function เป็น loss function สำหรับใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ซึ่งนำการปรับค่าผลการฝึกโมเดล ที่อาศัยหลักการของ Dice coefficient ซึ่งช่วยบอกได้ว่าชุดข้อมูล 2 ชุดมีส่วนที่ซ้อนทับหรือคล้ายคลึงกันมากเพียงใดตามสมการที่ (21)

$$Dice\ Coefficient = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \tag{21}$$

โดย $|A \cap B|$ แสดงถึงชุดข้อมูลเหมือนกันของ A และ B ขณะที่ $|A|$ และ $|B|$ คือตัวประกอบของ A และ B ตามลำดับ และ Soft Dice จะมีค่าตามสมการที่ (22)

$$Soft\ Dice = 1 - Dice\ Coefficient \tag{22}$$



รูปภาพที่ 16 สถาปัตยกรรม U-Net ที่ปรับปรุงและนำมาใช้สำหรับการดำเนินการวิจัย

ซึ่งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับรูปภาพแล้ว เราสามารถเขียน Soft dice function ได้ดังสมการที่ (23)

$$Soft\ Dice = 1 - \frac{2 \sum_{pixels} y_{true} y_{predict}}{\sum_{pixels} y_{true}^2 + \sum_{pixels} y_{predict}^2} \tag{23}$$

ตารางที่ 9 พารามิเตอร์โมเดล U-Net ชั้นตอน Down sampling path

	Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
D1	input_2 (InputLayer)	(None, 512, 512, 1)	-	
	conv2d_20 (Conv2D)	(None, 512, 512, 32)	320	input_2[0][0]
	batch_normalization_19 (BatchNo	(None, 512, 512, 32)	128	conv2d_20[0][0]
	conv2d_21 (Conv2D)	(None, 512, 512, 32)	9,248	batch_normalization_19[0][0]
	batch_normalization_20 (BatchNo	(None, 512, 512, 32)	128	conv2d_21[0][0]
D2	max_pooling2d_5 (MaxPooling2D)	(None, 256, 256, 32)	-	batch_normalization_20[0][0]
	conv2d_22 (Conv2D)	(None, 256, 256, 64)	18,496	max_pooling2d_5[0][0]
	batch_normalization_21 (BatchNo	(None, 256, 256, 64)	256	conv2d_22[0][0]
	conv2d_23 (Conv2D)	(None, 256, 256, 64)	36,928	batch_normalization_21[0][0]
	batch_normalization_22 (BatchNo	(None, 256, 256, 64)	256	conv2d_23[0][0]
D2	max_pooling2d_6 (MaxPooling2D)	(None, 128, 128, 64)	-	batch_normalization_22[0][0]
	conv2d_24 (Conv2D)	(None, 128, 128, 128)	73,856	max_pooling2d_6[0][0]
	batch_normalization_23 (BatchNo	(None, 128, 128, 128)	512	conv2d_24[0][0]
	conv2d_25 (Conv2D)	(None, 128, 128, 128)	147,584	batch_normalization_23[0][0]
	batch_normalization_24 (BatchNo	(None, 128, 128, 128)	512	conv2d_25[0][0]
D4	max_pooling2d_7 (MaxPooling2D)	(None, 64, 64, 128)	-	batch_normalization_24[0][0]
	conv2d_26 (Conv2D)	(None, 64, 64, 256)	295,168	max_pooling2d_7[0][0]
	batch_normalization_25 (BatchNo	(None, 64, 64, 256)	1,024	conv2d_26[0][0]
	conv2d_27 (Conv2D)	(None, 64, 64, 256)	590,080	batch_normalization_25[0][0]
	batch_normalization_26 (BatchNo	(None, 64, 64, 256)	1,024	conv2d_27[0][0]
#5	max_pooling2d_8 (MaxPooling2D)	(None, 32, 32, 256)	-	batch_normalization_26[0][0]
	conv2d_28 (Conv2D)	(None, 32, 32, 512)	1,180,160	max_pooling2d_8[0][0]
	batch_normalization_27 (BatchNo	(None, 32, 32, 512)	2,048	conv2d_28[0][0]
	conv2d_29 (Conv2D)	(None, 32, 32, 512)	2,359,808	batch_normalization_27[0][0]
	batch_normalization_28 (BatchNo	(None, 32, 32, 512)	2,048	conv2d_29[0][0]

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์โมเดล U-Net ชั้นตอน Up sampling path

	Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
U4	up_sampling2d_5 (UpSampling2D)	(None, 64, 64, 512)	-	batch_normalization_28[0][0]
	concatenate_5 (Concatenate)	(None, 64, 64, 768)	-	batch_normalization_26[0][0] up_sampling2d_5[0][0]
	batch_normalization_29 (BatchNo	(None, 64, 64, 768)	3,072	concatenate_5[0][0]
	conv2d_30 (Conv2D)	(None, 64, 64, 256)	1,769,728	batch_normalization_29[0][0]
	batch_normalization_30 (BatchNo	(None, 64, 64, 256)	1,024	conv2d_30[0][0]
	conv2d_31 (Conv2D)	(None, 64, 64, 256)	590,080	batch_normalization_30[0][0]
U3	up_sampling2d_6 (UpSampling2D)	(None, 128, 128, 256)	-	conv2d_31[0][0]
	concatenate_6 (Concatenate)	(None, 128, 128, 384)	-	batch_normalization_24[0][0] up_sampling2d_6[0][0]
	batch_normalization_31 (BatchNo	(None, 128, 128, 384)	1,536	concatenate_6[0][0]
	conv2d_32 (Conv2D)	(None, 128, 128, 128)	442,496	batch_normalization_31[0][0]
	batch_normalization_32 (BatchNo	(None, 128, 128, 128)	512	conv2d_32[0][0]
	conv2d_33 (Conv2D)	(None, 128, 128, 128)	147,584	batch_normalization_32[0][0]
U2	up_sampling2d_7 (UpSampling2D)	(None, 256, 256, 128)	-	conv2d_33[0][0]
	concatenate_7 (Concatenate)	(None, 256, 256, 192)	-	batch_normalization_22[0][0] up_sampling2d_7[0][0]
	batch_normalization_33 (BatchNo	(None, 256, 256, 192)	768	concatenate_7[0][0]
	conv2d_34 (Conv2D)	(None, 256, 256, 64)	110,656	batch_normalization_33[0][0]
	batch_normalization_34 (BatchNo	(None, 256, 256, 64)	256	conv2d_34[0][0]
	conv2d_35 (Conv2D)	(None, 256, 256, 64)	36,928	batch_normalization_34[0][0]
U1	up_sampling2d_8 (UpSampling2D)	(None, 512, 512, 64)	-	conv2d_35[0][0]
	concatenate_8 (Concatenate)	(None, 512, 512, 96)	-	batch_normalization_20[0][0] up_sampling2d_8[0][0]
	batch_normalization_35 (BatchNo	(None, 512, 512, 96)	384	concatenate_8[0][0]
	conv2d_36 (Conv2D)	(None, 512, 512, 32)	27,680	batch_normalization_35[0][0]
	batch_normalization_36 (BatchNo	(None, 512, 512, 32)	128	conv2d_36[0][0]
	conv2d_37 (Conv2D)	(None, 512, 512, 32)	9,248	batch_normalization_36[0][0]
	conv2d_38 (Conv2D)	(None, 512, 512, 1)	33	conv2d_37[0][0]

3.5 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย(Mean-Shift Clustering)

การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย (Mean-Shift Clustering) เป็นขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการทำนายพื้นที่ดับจากภาพซีทีในขั้นตอนหลังจากการประมวลผลด้วย U-Net โดยหากกลุ่มของพื้นที่ดับที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในภาพ โดยใช้ฟังก์ชันการประมวลผลตำแหน่งใน T_a, T_b และ T_c เพื่อกำหนดกรอบพื้นที่ของดับที่เหมาะสมแสดงดังรูปภาพที่ 17 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย กำหนดให้ $V'' = \{v''_0, v''_1, v''_2, \dots, v''_N\}$ เป็นเซตของว็อกเซลผลลัพธ์การแยกพื้นที่ดับจากภาพซีที กำหนดให้ v''_i มีค่าเป็น 0 แทนพื้นหลัง และ 1 เป็นผลลัพธ์ว็อกเซลพื้นที่ดับจากการประมวลผลด้วย U-Net

$$P(i_0, i_1, i_2) = i_0 \cdot (d_1 \cdot d_2) + i_1 \cdot d_2 + i_2 \quad (24)$$

$$S(i, j, k) = \begin{cases} [i, \text{INT}(j\%(d_1 \cdot d_2)/d_2), j\%d_2] & \text{if } k == 0 \\ [\text{INT}(j/d_2), i, j\%d_2] & \text{if } k == 1 \\ [\text{INT}(j/d_1), j\%d_1, i] & \text{if } k == 2 \end{cases} \quad (25)$$

กำหนดให้ $T_a = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_{d_0}\}, T_b = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_{d_1}\}$ และ $T_c = \{c_0, c_1, c_2, \dots, c_{d_2}\}$ โดย T_a แทนผลรวมของว็อกเซลผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ดับตามแนวระนาบข้าง T_b แทนผลรวมของว็อกเซลผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ดับตามแนวระนาบหน้าหลัง และ T_c แทนผลรวมของว็อกเซลผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ดับตามแนวระนาบขวาง

$$a_i = \sum_{j=0}^{(d_1 \cdot d_2)} v''_{P(S(i,j,0))} \quad (26)$$

$$b_i = \sum_{j=0}^{(d_0 \cdot d_2)} v''_{P(S(i,j,1))} \quad (27)$$

$$c_i = \sum_{j=0}^{(d_0 \cdot d_1)} v''_{P(S(i,j,2))} \quad (28)$$

$$SH(X, i) = \begin{cases} 0 & \text{if } sum(X) = 0 \\ argmin(mean(X) - X) - r & \text{Other} \end{cases} \quad (29)$$

$$SP(X, i, r) = \begin{cases} i & \text{if } SH(X, r) = 0 \\ SP(\beta(i + SH(X, r)), i + SH(X, r), r) & \text{Other} \end{cases} \quad (30)$$

สามารถหาขอบเขตของพื้นที่ดับที่มีขนาดใหญ่ที่สุดตามแนวระนาบทั้งสามในภาพได้จากสมการที่ (30) ใน $\{SP(\beta(i), i \cdot \omega + r, r) \text{ for } i = [0, (i * \omega) / r + 1]\}$ พร้อมทั้งแทนค่า β ดังนี้

β เท่ากับ $\{a_{i \cdot \omega + j} \text{ for } j = [0, \omega - 1]\}$ สำหรับระนาบข้าง

β เท่ากับ $\{b_{i \cdot \omega + j} \text{ for } j = [0, \omega - 1]\}$ สำหรับระนาบหน้าหลัง

β เท่ากับ $\{c_{i \cdot \omega + j} \text{ for } j = [0, \omega - 1]\}$ สำหรับระนาบขวาง

กำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- d_0 เป็นค่าของขนาดภาพซีทีในระนาบข้าง (Median Plane)
- d_1 เป็นค่าของขนาดภาพซีทีในระนาบหน้าหลัง (Coronal Plane)
- d_2 เป็นค่าของขนาดภาพซีทีในระนาบขวาง (Horizontal Plane)
- r เป็นค่าของรัศมีของกลุ่มข้อมูลใน T_a, T_b และ T_c
- ω เป็นค่าของขนาดขอบเขตกลุ่มข้อมูลใน T_a, T_b และ T_c

3.6 การทดลองและการวัดประสิทธิภาพ

การทดลองในงานวิจัยนี้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NbSD และ NCDF และใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย (Mean-Shift Clustering) สำหรับแยกพื้นที่ดีับจากภาพซีทีในขั้นตอนหลังจากการประมวลผลด้วย U-Net ตามขั้นตอนแสดงดังรูปภาพที่ 14 และวิธีการวัดประสิทธิภาพการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้วิธี 5-fold cross-validation โดยแบ่งชุดฝึกการเรียนรู้ และชุดทดสอบ ตามรายละเอียดดังตารางที่ 11 กำหนดให้แต่ละรอบการทดสอบประกอบด้วยชุดฝึกการเรียนรู้จำนวน 16x12 ภาพต่อรอบ และชุดทดสอบจำนวน 4x12 ภาพต่อรอบ รายละเอียดข้อมูลชุดฝึกและชุดทดสอบตามตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลการแบ่งชุดทดสอบ และชุดฝึกการเรียนรู้แบบ 5-fold cross-validation

ชุดทดสอบ					ชุดฝึกการเรียนรู้			
รหัสกลุ่ม	รหัสภาพซีที				รหัสกลุ่ม			
1	DB01104	DB01105	DB01119	DB01102	2	3	4	5
2	DB01107	DB01108	DB01113	DB01106	1	3	4	5
3	DB01109	DB01110	DB01120	DB01101	1	2	4	5
4	DB01111	DB01112	DB01114	DB01116	1	2	3	5
5	DB01115	DB01118	DB01117	DB01103	1	2	3	4



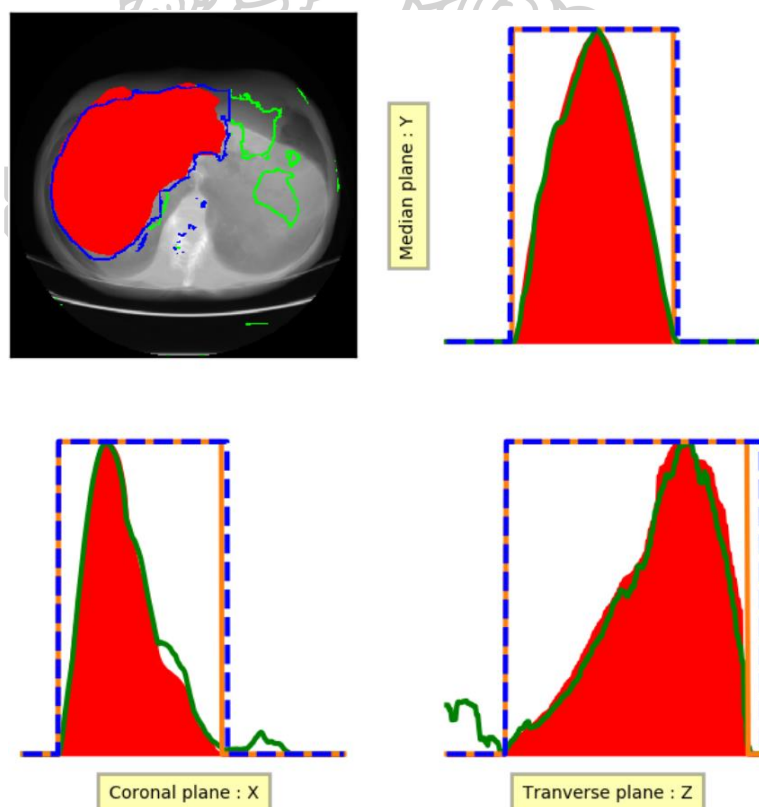
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

แนวทางการดำเนินการวิจัยที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการพัฒนาวิธีการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีด้วยการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย ได้ผลลัพธ์ดังนี้

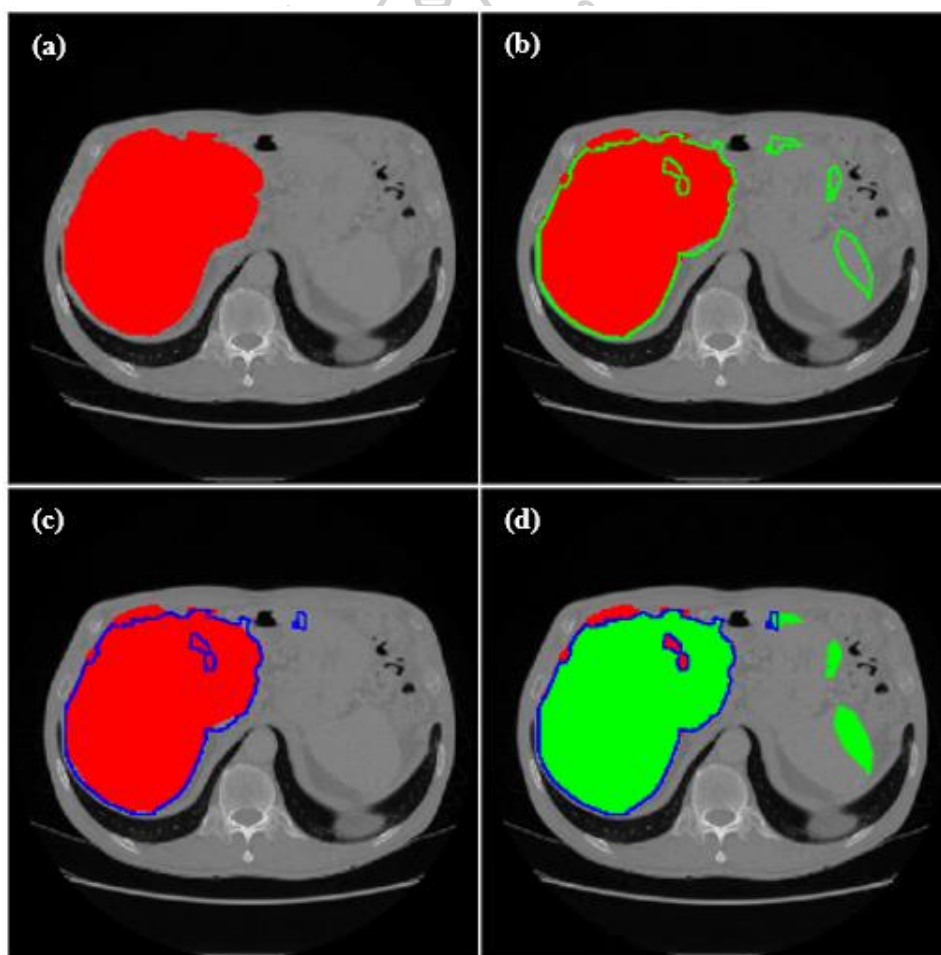
4.1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยการแบ่งกลุ่มแบบย้ายค่าเฉลี่ย

การใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ย (Mean-Shift Clustering) ร่วมกับการประมวลผลด้วยใช้ให้สามารถตัดส่วนพื้นที่ส่วนเกินจากการทำนายของ U-Net แสดงดังรูปภาพที่ 17 พื้นที่สีแดงคือพื้นที่ของตับเป้าหมาย พื้นที่ที่กรอบสีเขียวคือพื้นที่ของตับที่ได้จากการประมวลผลด้วย U-Net และพื้นที่สีน้ำเงินคือผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ Mean-Shift เพื่อตัดพื้นที่ส่วนเกินออกได้โดยการเลือกกรอบพื้นที่ ๆ ที่สุดจากแนวแกน X, Y และ Z ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ค่าความแม่นยำดีขึ้น

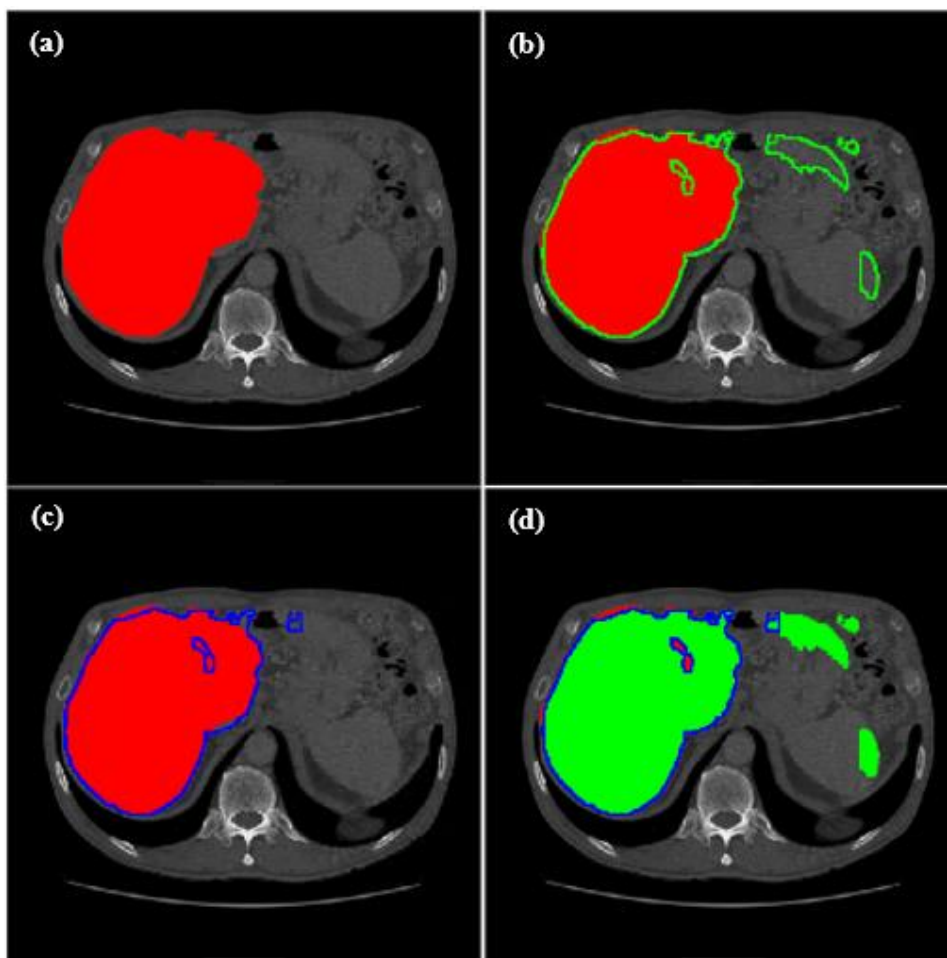


รูปภาพที่ 17 ภาพผลลัพธ์จากพื้นที่ตับที่ตัดพื้นที่ส่วนเกินด้วย Mean-Shift

สำหรับขั้นตอนก่อนการประมวลผลด้วย U-Net ผู้วิจัยเสนอฟังก์ชันสำหรับการปรับข้อมูลภาพซีที ด้วยฟังก์ชัน NbSD และ NCDF แสดงตัวอย่างของผลลัพธ์จากการปรับข้อมูลใช้ฟังก์ชัน NbSD ดังรูปภาพที่ 18 และผลลัพธ์จากการปรับข้อมูลใช้ฟังก์ชัน NCDF ดังรูปภาพที่ 19 จากภาพ (a) สีแดงแสดงถึงพื้นที่ตับเป้าหมาย (b) สีแดงแสดงถึงการเปรียบเทียบพื้นที่ตับเป้าหมายกับสีเขียวขอบพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลด้วย U-Net (c) สีแดงแสดงถึงการเปรียบเทียบพื้นที่ตับเป้าหมายกับสีน้ำเงินขอบพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลด้วย U-Net และ Mean-Shift และ (d) สีเขียวแสดงถึงพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลด้วย U-Net สีน้ำเงินแสดงถึงการตัดพื้นที่ส่วนเกินด้วย Mean-Shift และสีแดงแสดงถึงพื้นที่ของตับที่ขาดหายไปจากการประมวลผลด้วย U-Net



รูปภาพที่ 18 ภาพผลลัพธ์การทำนายพื้นที่ตับ และการตัดพื้นที่ส่วนเกิน NbSD + Mean-Shift

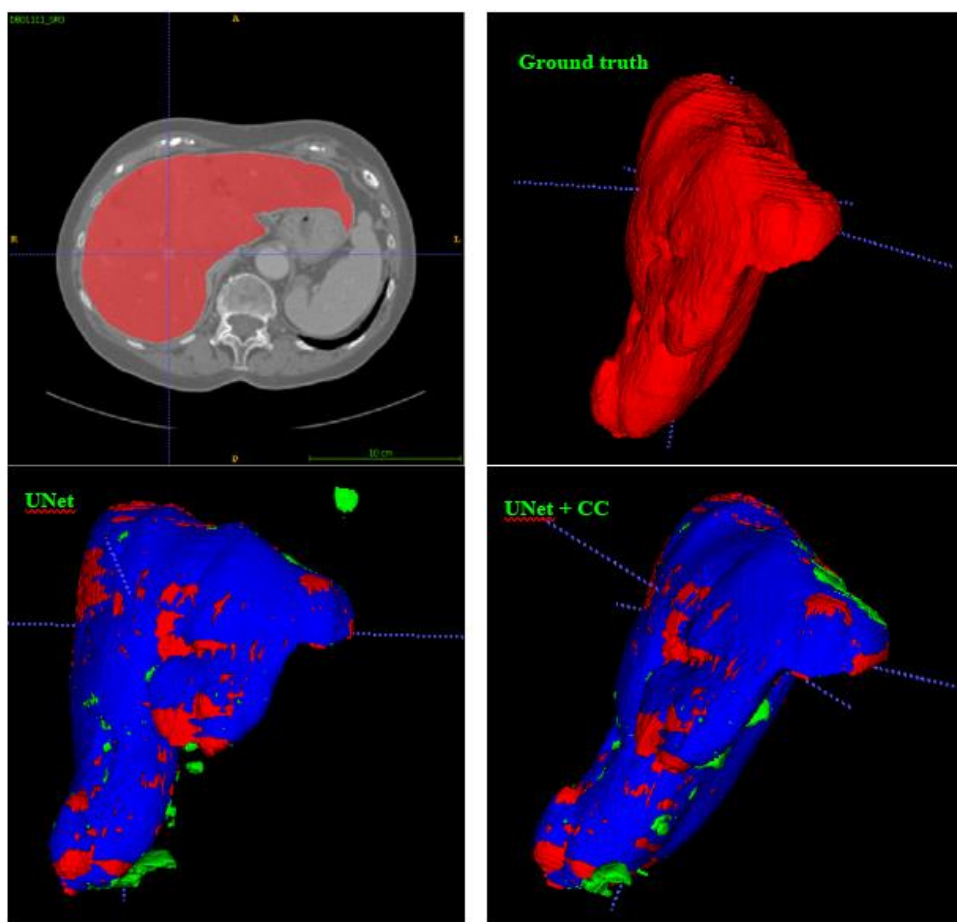


รูปภาพที่ 19 ภาพผลลัพธ์การทำงานพื้นที่ตับ และการตัดพื้นที่ส่วนเกิน NCDF + Mean-Shift

4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบด้วยการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NbSD

ผลจากการทดลองการดำเนินงานวิจัยตามที่เสนอผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบความแม่นยำของโมเดลด้วยการวัดดัชนีความคล้ายคลึงกันของผลลัพธ์เป้าหมายเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน NbSD และ UNet แสดงรายละเอียดของผลลัพธ์ดังตารางที่ 12 ถึง ตารางที่ 15 ผลจากตารางดังกล่าวผู้วิจัยดำเนินการเปรียบเทียบผลความแม่นยำผลลัพธ์ที่ใช้ Mean-Shift* และ Mean-Shift รวมทั้ง Connected Component (CC) ในขั้นตอนสุดท้ายต่อจากการทำนายพื้นที่ด้วย UNet ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ Mean-Shift* กับ Mean-Shift ผลลัพธ์ที่ได้ค่าความแม่นยำไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วย Mean-Shift* เพิ่มขึ้นจากการประมวลผลด้วย Mean-Shift เป็น n เท่า เนื่องจากการประมวลผลด้วย Mean-Shift* จะเป็นการประมวลผลภาพทีละสไลซ์ของภาพ

สำหรับการขั้นตอนที่ใช้ Connected Components เมื่อเทียบกับ Mean-Shift จะได้ผลลัพธ์ที่ดีสามารถตัดเศษชิ้นส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่ตับที่อยู่บริเวณใต้พื้นที่ตับใหญ่ได้ แสดงภาพตัวอย่างเปรียบเทียบผลในรูปแบบสามมิติดังรูปภาพที่ 20 แสดงให้เห็นการตัดพื้นที่ส่วนเกินของพื้นที่ตับจากการทำนายด้วย UNet ได้แต่สำหรับ Mean-Shift สามารถตัดพื้นที่ส่วนเกินที่ติดกับพื้นที่ตับใหญ่ได้เช่นกัน ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ใช้ UNet เพียงอย่างเดียว



รูปภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การใช้ Connected Components (CC)

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + UNet

A1		NbSD + UNet						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.81 ± 0.01	0.68 ± 0.02	31.99 ± 1.72	-31.29 ± 1.93	5.75 ± 1.26	9.58 ± 2.33	61.77 ± 25.54
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.85 ± 0.48	-3.49 ± 0.95	0.81 ± 0.15	2.06 ± 0.45	31.11 ± 5.45
Fold01	DB01105	0.53 ± 0.12	0.36 ± 0.11	63.51 ± 11.39	-60.27 ± 12.95	8.58 ± 0.54	12.94 ± 0.88	56.43 ± 8.67
Fold01	DB01119	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.11 ± 0.35	-3.64 ± 0.74	0.75 ± 0.10	2.34 ± 0.34	30.97 ± 5.04
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.78 ± 0.47	1.91 ± 1.37	0.82 ± 0.16	2.06 ± 0.21	39.95 ± 13.63
Fold02	DB01107	0.87 ± 0.03	0.78 ± 0.04	22.14 ± 4.37	-19.88 ± 5.58	4.73 ± 1.36	9.39 ± 5.15	68.44 ± 38.24
Fold02	DB01108	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	8.19 ± 1.19	-3.90 ± 1.88	1.37 ± 0.22	2.53 ± 0.45	23.79 ± 8.27
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.00	8.12 ± 0.39	1.23 ± 1.49	2.10 ± 1.03	7.84 ± 5.04	91.27 ± 45.43
Fold03	DB01101	0.88 ± 0.02	0.78 ± 0.03	21.70 ± 3.34	-18.72 ± 3.76	3.70 ± 0.47	6.31 ± 0.85	53.12 ± 27.83
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.68 ± 0.21	-0.93 ± 1.36	0.92 ± 0.20	3.98 ± 1.44	77.05 ± 17.63
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.01	8.82 ± 0.74	-5.31 ± 1.14	1.28 ± 0.20	3.03 ± 0.49	37.45 ± 11.90
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	6.25 ± 0.46	-1.93 ± 1.30	1.52 ± 0.51	4.29 ± 1.59	62.32 ± 43.11
Fold04	DB01111	0.98 ± 0.01	0.96 ± 0.02	4.38 ± 1.53	-3.62 ± 1.66	0.63 ± 0.20	1.50 ± 0.50	19.69 ± 9.06
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.01	3.36 ± 0.56	-1.78 ± 1.30	0.41 ± 0.06	0.73 ± 0.07	16.72 ± 5.13
Fold04	DB01114	0.89 ± 0.02	0.80 ± 0.03	19.59 ± 2.78	-18.81 ± 2.96	4.87 ± 1.39	8.35 ± 2.23	67.79 ± 9.59
Fold04	DB01116	0.81 ± 0.02	0.68 ± 0.03	31.54 ± 2.59	-31.16 ± 2.68	5.44 ± 1.12	10.63 ± 1.99	62.98 ± 11.09
Fold05	DB01103	0.94 ± 0.01	0.89 ± 0.02	10.81 ± 1.99	-8.38 ± 2.44	3.20 ± 0.80	7.46 ± 1.97	56.96 ± 28.83
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01	3.91 ± 0.53	-1.06 ± 1.15	0.44 ± 0.02	1.15 ± 0.73	25.71 ± 37.42
Fold05	DB01117	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.43 ± 0.37	-1.01 ± 1.10	0.83 ± 0.12	1.91 ± 0.47	39.23 ± 43.92
Fold05	DB01118	0.95 ± 0.01	0.91 ± 0.01	9.03 ± 1.16	-6.67 ± 1.39	2.69 ± 0.75	7.55 ± 1.87	59.20 ± 34.45

ตารางที่ 13 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Mean-Shift*

B1		NbSD + UNet + Mean-Shift*						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.81 ± 0.01	0.68 ± 0.02	32.05 ± 1.71	-31.36 ± 1.93	5.77 ± 1.27	9.59 ± 2.32	61.77 ± 25.54
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	6.08 ± 0.48	-3.88 ± 0.75	0.80 ± 0.16	1.84 ± 0.43	15.93 ± 4.01
Fold01	DB01105	0.53 ± 0.12	0.37 ± 0.11	63.50 ± 11.40	-60.30 ± 12.93	8.56 ± 0.54	12.90 ± 0.87	54.85 ± 9.73
Fold01	DB01119	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.15 ± 0.35	-3.71 ± 0.75	0.75 ± 0.10	2.34 ± 0.34	30.97 ± 5.04
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.27 ± 0.53	1.20 ± 1.20	1.69 ± 0.48	7.67 ± 2.76	92.14 ± 29.62
Fold02	DB01107	0.88 ± 0.03	0.78 ± 0.05	21.87 ± 4.61	-20.22 ± 5.20	4.01 ± 0.39	6.56 ± 0.50	34.23 ± 2.44
Fold02	DB01108	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	8.28 ± 1.11	-4.03 ± 1.79	1.38 ± 0.22	2.55 ± 0.45	23.79 ± 8.27
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.00	7.88 ± 0.27	0.52 ± 1.32	1.10 ± 0.17	2.15 ± 0.43	31.72 ± 14.07
Fold03	DB01101	0.88 ± 0.02	0.78 ± 0.03	21.73 ± 3.32	-18.77 ± 3.73	3.70 ± 0.47	6.30 ± 0.83	40.02 ± 3.69
Fold03	DB01109	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.02 ± 0.19	-1.33 ± 1.08	0.98 ± 0.25	4.03 ± 1.51	75.14 ± 16.84
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.01	8.85 ± 0.71	-5.35 ± 1.11	1.28 ± 0.20	3.02 ± 0.50	30.28 ± 8.68
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	6.25 ± 0.37	-2.32 ± 1.24	1.43 ± 0.49	3.78 ± 1.43	38.12 ± 19.16
Fold04	DB01111	0.97 ± 0.01	0.95 ± 0.01	5.40 ± 1.40	-4.65 ± 1.56	1.11 ± 0.29	3.92 ± 0.95	40.80 ± 8.50
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.00	3.50 ± 0.47	-1.94 ± 1.19	0.42 ± 0.05	0.79 ± 0.08	16.72 ± 5.13
Fold04	DB01114	0.89 ± 0.02	0.80 ± 0.03	19.67 ± 2.75	-18.90 ± 2.94	4.88 ± 1.39	8.36 ± 2.23	67.79 ± 9.59
Fold04	DB01116	0.81 ± 0.02	0.68 ± 0.03	31.68 ± 2.55	-31.31 ± 2.64	5.48 ± 1.14	10.66 ± 2.01	62.98 ± 11.09
Fold05	DB01103	0.94 ± 0.01	0.89 ± 0.02	10.84 ± 1.99	-8.41 ± 2.45	3.21 ± 0.80	7.46 ± 1.98	49.39 ± 15.15
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01	3.93 ± 0.51	-1.11 ± 1.12	0.43 ± 0.02	0.87 ± 0.03	11.95 ± 1.24
Fold05	DB01117	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.84 ± 0.34	-1.54 ± 1.00	0.90 ± 0.15	2.05 ± 0.43	25.14 ± 9.71
Fold05	DB01118	0.95 ± 0.01	0.91 ± 0.01	9.20 ± 1.19	-6.87 ± 1.36	2.72 ± 0.76	7.55 ± 1.84	47.73 ± 5.93

ตารางที่ 14 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Mean-Shift

C1		NbSD + UNet + Mean-Shift						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.80 ± 0.02	0.66 ± 0.02	33.87 ± 2.07	-33.51 ± 2.19	15.24 ± 5.64	41.60 ± 19.17	274.03 ± 97.90
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.80 ± 0.50	-3.56 ± 0.94	0.75 ± 0.14	1.73 ± 0.40	15.88 ± 4.19
Fold01	DB01105	0.52 ± 0.13	0.36 ± 0.12	64.10 ± 11.89	-62.33 ± 13.31	9.20 ± 1.46	13.35 ± 1.80	47.08 ± 5.90
Fold01	DB01119	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.17 ± 0.37	-3.73 ± 0.77	0.77 ± 0.14	2.46 ± 0.43	30.97 ± 5.04
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.83 ± 0.47	1.85 ± 1.38	0.86 ± 0.20	2.36 ± 0.82	44.13 ± 15.78
Fold02	DB01107	0.87 ± 0.03	0.78 ± 0.05	22.22 ± 4.83	-20.57 ± 5.40	4.21 ± 0.62	6.97 ± 1.06	36.09 ± 6.99
Fold02	DB01108	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	8.19 ± 1.19	-3.90 ± 1.88	1.37 ± 0.22	2.53 ± 0.45	23.79 ± 8.27
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.00	7.90 ± 0.19	0.41 ± 1.53	1.09 ± 0.17	2.03 ± 0.37	33.54 ± 15.60
Fold03	DB01101	0.87 ± 0.02	0.78 ± 0.04	22.35 ± 3.50	-19.47 ± 3.96	3.95 ± 0.57	6.82 ± 0.97	40.62 ± 3.27
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.70 ± 0.22	-0.95 ± 1.36	0.92 ± 0.20	3.94 ± 1.45	75.14 ± 16.84
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.01	8.89 ± 0.71	-5.40 ± 1.10	1.28 ± 0.20	3.02 ± 0.50	27.11 ± 3.00
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	6.11 ± 0.38	-2.13 ± 1.31	1.41 ± 0.51	3.75 ± 1.57	32.45 ± 3.29
Fold04	DB01111	0.97 ± 0.01	0.95 ± 0.01	4.89 ± 1.49	-4.14 ± 1.66	0.84 ± 0.35	2.51 ± 1.32	27.74 ± 12.87
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.01	3.38 ± 0.56	-1.80 ± 1.30	0.41 ± 0.06	0.73 ± 0.07	16.72 ± 5.13
Fold04	DB01114	0.89 ± 0.02	0.80 ± 0.03	19.98 ± 2.85	-19.23 ± 3.03	5.78 ± 1.46	12.18 ± 3.04	120.38 ± 46.89
Fold04	DB01116	0.81 ± 0.02	0.68 ± 0.03	31.89 ± 2.83	-31.52 ± 2.92	5.59 ± 1.14	10.79 ± 1.96	62.98 ± 11.09
Fold05	DB01103	0.94 ± 0.01	0.89 ± 0.02	11.00 ± 2.06	-8.57 ± 2.49	3.24 ± 0.81	7.49 ± 1.99	49.39 ± 15.15
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01	3.91 ± 0.52	-1.07 ± 1.15	0.42 ± 0.02	0.86 ± 0.03	11.95 ± 1.24
Fold05	DB01117	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.40 ± 0.30	-1.08 ± 1.20	0.79 ± 0.11	1.70 ± 0.32	19.97 ± 5.90
Fold05	DB01118	0.95 ± 0.01	0.90 ± 0.02	9.86 ± 1.78	-7.56 ± 1.92	3.00 ± 1.01	7.91 ± 2.13	47.73 ± 5.93

ตารางที่ 15 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NbSD + Connected Components

D1		NbSD + UNet + Connected Components						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.81 ± 0.01	0.68 ± 0.02	32.15 ± 1.86	-31.78 ± 2.05	7.11 ± 1.55	14.17 ± 2.93	129.96 ± 17.11
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.85 ± 0.47	-3.52 ± 0.93	0.80 ± 0.15	2.01 ± 0.48	25.28 ± 8.39
Fold01	DB01105	0.53 ± 0.13	0.37 ± 0.12	63.04 ± 12.02	-62.29 ± 12.18	8.22 ± 1.38	11.91 ± 1.71	39.40 ± 2.37
Fold01	DB01119	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.10 ± 0.35	-3.64 ± 0.74	0.75 ± 0.10	2.33 ± 0.35	29.70 ± 4.04
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.77 ± 0.48	1.90 ± 1.38	0.82 ± 0.17	2.04 ± 0.22	36.05 ± 4.89
Fold02	DB01107	0.88 ± 0.03	0.78 ± 0.05	21.90 ± 4.61	-20.25 ± 5.20	4.07 ± 0.38	6.66 ± 0.45	34.26 ± 2.41
Fold02	DB01108	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	8.20 ± 1.19	-3.91 ± 1.88	1.38 ± 0.22	2.55 ± 0.45	20.70 ± 3.19
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.00	7.77 ± 0.24	0.76 ± 1.47	1.04 ± 0.17	1.76 ± 0.30	15.38 ± 5.00
Fold03	DB01101	0.88 ± 0.02	0.78 ± 0.04	21.88 ± 3.59	-18.93 ± 3.98	3.83 ± 0.59	6.57 ± 1.01	38.28 ± 5.69
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.57 ± 0.25	-1.05 ± 1.30	0.62 ± 0.04	1.05 ± 0.05	12.26 ± 2.37
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.01	8.83 ± 0.73	-5.33 ± 1.12	1.28 ± 0.21	3.01 ± 0.51	27.11 ± 3.00
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.38 ± 0.41	-2.87 ± 0.93	0.84 ± 0.18	1.68 ± 0.29	25.51 ± 5.63
Fold04	DB01111	0.98 ± 0.01	0.96 ± 0.02	4.38 ± 1.53	-3.62 ± 1.66	0.63 ± 0.20	1.50 ± 0.50	19.69 ± 9.06
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.01	3.36 ± 0.56	-1.79 ± 1.30	0.41 ± 0.06	0.73 ± 0.07	14.11 ± 5.67
Fold04	DB01114	0.89 ± 0.02	0.80 ± 0.03	19.60 ± 2.79	-18.83 ± 2.98	4.91 ± 1.41	8.41 ± 2.25	70.95 ± 8.22
Fold04	DB01116	0.81 ± 0.02	0.68 ± 0.03	31.71 ± 2.60	-31.34 ± 2.69	5.74 ± 1.22	11.03 ± 2.13	62.98 ± 11.09
Fold05	DB01103	0.94 ± 0.01	0.89 ± 0.02	10.82 ± 1.99	-8.38 ± 2.44	3.21 ± 0.80	7.47 ± 1.98	49.39 ± 15.15
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01	3.90 ± 0.51	-1.07 ± 1.17	0.42 ± 0.02	0.85 ± 0.01	11.49 ± 1.75
Fold05	DB01117	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.34 ± 0.23	-1.11 ± 1.24	0.75 ± 0.10	1.51 ± 0.21	15.12 ± 2.22
Fold05	DB01118	0.95 ± 0.01	0.91 ± 0.01	9.04 ± 1.16	-6.69 ± 1.39	2.77 ± 0.73	7.72 ± 1.80	47.73 ± 5.93

4.3 ผลลัพธ์จากการทดสอบด้วยการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NCDF

ผลจากการทดลองการดำเนินงานวิจัยตามที่เสนอผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบความแม่นยำของโมเดลด้วยการวัดดัชนีความคล้ายคลึงกันของผลลัพธ์เป้าหมายเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน NCDF แสดงให้เห็นได้ว่าฟังก์ชันดังกล่าวมีผลต่อค่าความแม่นยำของการประมวลผลตามรายละเอียดของผลลัพธ์ดังตารางที่ 16 ถึง ตารางที่ 19

ตารางที่ 16 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + UNet

A2		NCDF + UNet						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.29 ± 0.24	-0.91 ± 1.36	0.63 ± 0.14	1.59 ± 0.58	32.74 ± 17.96
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.28 ± 0.79	-1.35 ± 0.62	1.01 ± 0.23	2.80 ± 0.45	36.06 ± 4.57
Fold01	DB01105	0.82 ± 0.06	0.70 ± 0.09	30.00 ± 8.69	-15.28 ± 7.62	6.35 ± 0.35	12.59 ± 1.32	62.98 ± 19.69
Fold01	DB01119	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.75 ± 0.28	0.32 ± 0.57	0.49 ± 0.15	1.40 ± 0.65	31.69 ± 19.81
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.72 ± 0.53	1.79 ± 1.31	1.00 ± 0.27	3.18 ± 0.84	46.01 ± 10.50
Fold02	DB01107	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	7.75 ± 1.42	-2.88 ± 2.63	3.54 ± 2.83	12.13 ± 8.89	95.65 ± 40.60
Fold02	DB01108	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.61 ± 0.27	-0.83 ± 0.93	0.89 ± 0.12	1.72 ± 0.24	20.94 ± 5.39
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.01	8.43 ± 0.82	3.80 ± 1.76	4.36 ± 2.52	15.32 ± 7.97	119.44 ± 30.07
Fold03	DB01101	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.24 ± 0.12	-0.67 ± 1.15	1.11 ± 0.19	2.16 ± 0.42	40.31 ± 14.56
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.77 ± 0.08	0.19 ± 1.10	0.71 ± 0.14	3.08 ± 0.78	68.44 ± 10.00
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.00	8.94 ± 0.16	-5.00 ± 0.49	1.28 ± 0.29	3.55 ± 1.97	47.71 ± 58.70
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.66 ± 0.53	-0.90 ± 0.85	1.59 ± 0.93	7.41 ± 5.43	122.96 ± 50.89
Fold04	DB01111	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.01	7.20 ± 0.81	-1.79 ± 1.15	1.48 ± 0.35	3.77 ± 0.81	37.71 ± 15.81
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.15 ± 0.31	2.46 ± 1.04	0.75 ± 0.40	3.69 ± 4.56	76.65 ± 75.00
Fold04	DB01114	0.97 ± 0.00	0.93 ± 0.00	6.58 ± 0.23	-0.36 ± 1.76	1.98 ± 0.59	8.58 ± 5.82	266.12 ± 256.75
Fold04	DB01116	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.01	5.13 ± 0.66	-0.71 ± 0.77	3.97 ± 0.97	10.61 ± 1.88	91.29 ± 44.31
Fold05	DB01103	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.08 ± 0.17	-0.47 ± 1.39	0.69 ± 0.28	1.92 ± 2.10	64.45 ± 66.65
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.00	3.23 ± 0.15	0.27 ± 0.90	0.46 ± 0.27	2.12 ± 2.55	45.19 ± 44.05
Fold05	DB01117	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.57 ± 0.18	0.56 ± 1.27	0.65 ± 0.10	1.90 ± 0.90	52.89 ± 63.78
Fold05	DB01118	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.67 ± 0.58	-2.76 ± 0.80	0.89 ± 0.29	2.47 ± 1.27	36.08 ± 15.99



ตารางที่ 17 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Mean-Shift*

A2		NCDF + UNet + Mean-Shift*						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.53 ± 0.28	-1.28 ± 1.28	0.66 ± 0.14	1.64 ± 0.56	32.74 ± 17.96
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.01	6.28 ± 0.98	-2.00 ± 0.48	0.86 ± 0.24	2.01 ± 0.55	19.04 ± 6.34
Fold01	DB01105	0.82 ± 0.06	0.70 ± 0.09	29.54 ± 8.84	-15.97 ± 7.47	5.94 ± 0.24	11.94 ± 1.10	56.73 ± 8.06
Fold01	DB01119	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.78 ± 0.27	0.24 ± 0.57	0.49 ± 0.15	1.39 ± 0.62	31.69 ± 19.81
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.20 ± 0.64	1.08 ± 1.14	1.78 ± 0.56	7.78 ± 2.80	92.07 ± 29.35
Fold02	DB01107	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.01	6.80 ± 0.53	-4.31 ± 1.33	1.29 ± 0.27	2.83 ± 0.73	30.91 ± 14.89
Fold02	DB01108	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.70 ± 0.20	-0.96 ± 0.87	0.90 ± 0.12	1.74 ± 0.24	19.57 ± 2.50
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.29 ± 0.22	2.02 ± 1.08	1.04 ± 0.20	1.93 ± 0.40	27.18 ± 7.19
Fold03	DB01101	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.00	7.59 ± 0.26	-1.19 ± 0.98	1.14 ± 0.21	2.09 ± 0.37	20.67 ± 7.65
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.07 ± 0.25	-0.25 ± 0.80	0.75 ± 0.15	3.04 ± 0.65	68.44 ± 10.00
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.00	8.97 ± 0.17	-5.04 ± 0.46	1.24 ± 0.21	2.96 ± 0.48	32.73 ± 19.23
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.67 ± 0.51	-1.38 ± 0.71	0.92 ± 0.29	1.78 ± 0.62	39.29 ± 26.02
Fold04	DB01111	0.96 ± 0.00	0.92 ± 0.01	8.34 ± 0.83	-3.15 ± 1.32	1.90 ± 0.38	5.01 ± 0.90	43.09 ± 13.85
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.12 ± 0.41	2.14 ± 0.93	0.58 ± 0.13	1.40 ± 0.67	30.98 ± 20.07
Fold04	DB01114	0.97 ± 0.00	0.93 ± 0.00	6.56 ± 0.41	-0.65 ± 1.94	1.61 ± 0.40	4.27 ± 0.92	57.13 ± 10.05
Fold04	DB01116	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.01	5.36 ± 0.68	-1.02 ± 0.72	3.96 ± 0.89	10.46 ± 1.58	62.87 ± 10.63
Fold05	DB01103	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.31 ± 0.20	-0.79 ± 1.31	0.68 ± 0.20	1.31 ± 0.43	18.71 ± 11.15
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.00	3.23 ± 0.20	0.20 ± 0.88	0.34 ± 0.05	0.73 ± 0.08	10.54 ± 0.90
Fold05	DB01117	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.01 ± 0.36	0.04 ± 1.19	0.73 ± 0.16	1.74 ± 0.30	18.21 ± 2.46
Fold05	DB01118	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.84 ± 0.64	-2.96 ± 0.72	0.92 ± 0.30	2.52 ± 1.27	36.08 ± 15.99

ตารางที่ 18 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Mean-Shift

A2		NCDF + UNet + Mean-Shift						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.33 ± 0.24	-1.11 ± 1.41	0.61 ± 0.13	1.40 ± 0.33	28.13 ± 15.76
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.01	6.13 ± 0.99	-1.60 ± 0.63	0.90 ± 0.30	2.22 ± 0.81	24.62 ± 10.99
Fold01	DB01105	0.82 ± 0.06	0.70 ± 0.09	29.71 ± 8.91	-16.13 ± 7.54	6.10 ± 0.29	12.19 ± 1.03	56.90 ± 8.06
Fold01	DB01119	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.05 ± 0.32	-0.14 ± 0.53	0.57 ± 0.15	1.74 ± 0.67	34.06 ± 17.17
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.84 ± 0.39	1.66 ± 1.56	1.20 ± 0.46	4.26 ± 3.00	54.91 ± 29.43
Fold02	DB01107	0.97 ± 0.00	0.93 ± 0.01	6.66 ± 0.59	-4.12 ± 1.48	1.27 ± 0.24	2.80 ± 0.71	30.91 ± 14.89
Fold02	DB01108	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.62 ± 0.28	-0.84 ± 0.93	0.89 ± 0.12	1.72 ± 0.24	19.57 ± 2.50
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.22 ± 0.12	2.18 ± 1.25	1.04 ± 0.19	1.93 ± 0.47	25.80 ± 8.09
Fold03	DB01101	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.20 ± 0.13	-0.73 ± 1.14	1.07 ± 0.17	1.89 ± 0.27	21.02 ± 8.02
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.95 ± 0.13	-0.13 ± 1.15	0.71 ± 0.11	2.96 ± 0.61	68.44 ± 10.00
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.00	9.14 ± 0.20	-5.25 ± 0.57	1.26 ± 0.22	2.99 ± 0.51	32.73 ± 19.23
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.49 ± 0.46	-1.14 ± 0.73	0.88 ± 0.26	1.67 ± 0.49	28.10 ± 19.17
Fold04	DB01111	0.96 ± 0.01	0.92 ± 0.01	7.62 ± 1.15	-2.38 ± 1.58	1.62 ± 0.50	4.11 ± 1.20	37.12 ± 15.89
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.04 ± 0.33	2.30 ± 1.06	0.56 ± 0.13	1.40 ± 0.70	44.77 ± 28.63
Fold04	DB01114	0.97 ± 0.00	0.93 ± 0.00	6.61 ± 0.38	-0.57 ± 1.98	1.67 ± 0.45	4.53 ± 1.10	68.79 ± 17.11
Fold04	DB01116	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.01	5.11 ± 0.63	-0.75 ± 0.82	3.90 ± 0.87	10.44 ± 1.63	66.75 ± 16.21
Fold05	DB01103	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.12 ± 0.16	-0.52 ± 1.41	0.65 ± 0.18	1.21 ± 0.39	18.54 ± 11.28
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.00	3.22 ± 0.18	0.24 ± 0.92	0.34 ± 0.05	0.73 ± 0.08	10.54 ± 0.90
Fold05	DB01117	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.58 ± 0.17	0.54 ± 1.27	0.64 ± 0.12	1.47 ± 0.19	16.06 ± 1.87
Fold05	DB01118	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.01	6.31 ± 1.31	-3.46 ± 1.46	1.14 ± 0.60	3.10 ± 2.03	36.08 ± 15.99

ตารางที่ 19 ผลลัพธ์ความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลด้วย NCDF + Connected Components

A2		NCDF + UNet + Connected Components						
Fold	Name	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
Fold01	DB01102	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.27 ± 0.25	-0.94 ± 1.37	0.60 ± 0.13	1.26 ± 0.18	20.62 ± 3.48
Fold01	DB01104	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.23 ± 0.75	-1.40 ± 0.66	0.97 ± 0.17	2.64 ± 0.27	34.12 ± 2.77
Fold01	DB01105	0.85 ± 0.06	0.74 ± 0.09	25.62 ± 8.90	-22.29 ± 9.14	3.33 ± 0.72	6.49 ± 1.17	33.94 ± 5.33
Fold01	DB01119	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.70 ± 0.30	0.27 ± 0.57	0.43 ± 0.08	0.83 ± 0.17	9.01 ± 2.65
Fold02	DB01106	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.58 ± 0.53	1.64 ± 1.31	0.86 ± 0.21	2.56 ± 0.60	45.44 ± 10.80
Fold02	DB01107	0.97 ± 0.00	0.93 ± 0.01	6.65 ± 0.57	-4.12 ± 1.47	1.27 ± 0.24	2.80 ± 0.70	25.55 ± 5.67
Fold02	DB01108	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	5.61 ± 0.27	-0.83 ± 0.92	0.89 ± 0.12	1.72 ± 0.23	19.48 ± 2.39
Fold02	DB01113	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.14 ± 0.12	2.31 ± 1.21	0.99 ± 0.17	1.80 ± 0.35	27.19 ± 5.78
Fold03	DB01101	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.00	7.22 ± 0.11	-0.69 ± 1.13	1.11 ± 0.19	2.14 ± 0.41	37.37 ± 18.34
Fold03	DB01109	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	3.65 ± 0.10	0.07 ± 1.08	0.50 ± 0.05	0.98 ± 0.11	13.80 ± 4.17
Fold03	DB01110	0.95 ± 0.00	0.91 ± 0.00	8.94 ± 0.17	-5.01 ± 0.50	1.23 ± 0.20	2.90 ± 0.38	26.35 ± 3.70
Fold03	DB01120	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.00	5.45 ± 0.47	-1.13 ± 0.74	0.85 ± 0.24	1.49 ± 0.30	18.45 ± 2.11
Fold04	DB01111	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.01	7.12 ± 0.72	-1.87 ± 1.22	1.40 ± 0.27	3.51 ± 0.52	30.24 ± 3.35
Fold04	DB01112	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.11 ± 0.33	2.42 ± 1.07	0.54 ± 0.10	1.06 ± 0.14	17.28 ± 5.80
Fold04	DB01114	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.00	6.48 ± 0.21	-0.47 ± 1.77	1.54 ± 0.40	3.92 ± 0.96	47.03 ± 20.98
Fold04	DB01116	0.97 ± 0.00	0.95 ± 0.01	5.07 ± 0.62	-0.78 ± 0.82	3.83 ± 0.84	10.33 ± 1.55	62.63 ± 11.08
Fold05	DB01103	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.00	4.08 ± 0.16	-0.47 ± 1.38	0.64 ± 0.18	1.21 ± 0.39	18.17 ± 11.47
Fold05	DB01115	0.98 ± 0.00	0.97 ± 0.00	3.21 ± 0.18	0.25 ± 0.92	0.34 ± 0.05	0.73 ± 0.08	10.54 ± 0.90
Fold05	DB01117	0.98 ± 0.00	0.95 ± 0.00	4.56 ± 0.18	0.55 ± 1.27	0.63 ± 0.12	1.45 ± 0.18	17.00 ± 3.34
Fold05	DB01118	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	5.67 ± 0.58	-2.77 ± 0.80	0.92 ± 0.29	2.68 ± 1.30	37.68 ± 14.82



4.4 สรุปผลการทดสอบ

สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลของชุดทดสอบที่ 1 – 5 ด้วยรูปแบบการประมวลผลรายละเอียดดังตารางที่ 20 ถึง ตารางที่ 27 และรายละเอียดของผลสรุปการทดสอบดังตารางข้อมูลในภาคผนวก

ตารางที่ 20 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

A1	NbSD + UNet						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.82 ± 0.19	0.73 ± 0.25	26.61 ± 24.94	-24.67 ± 24.68	3.97 ± 3.47	6.73 ± 4.92	45.07 ± 19.54
2	0.94 ± 0.04	0.89 ± 0.07	11.06 ± 6.93	-5.16 ± 9.42	2.26 ± 1.73	5.46 ± 4.72	55.86 ± 39.22
3	0.94 ± 0.04	0.90 ± 0.07	10.36 ± 7.02	-6.72 ± 7.53	1.85 ± 1.16	4.40 ± 1.65	57.49 ± 30.00
4	0.92 ± 0.07	0.85 ± 0.12	14.72 ± 12.02	-13.84 ± 12.39	2.84 ± 2.52	5.30 ± 4.58	41.80 ± 25.56
5	0.96 ± 0.02	0.93 ± 0.03	7.30 ± 3.02	-4.28 ± 3.69	1.79 ± 1.31	4.52 ± 3.34	45.28 ± 37.18
AVERAGE	0.92 ± 0.11	0.86 ± 0.15	14.01 ± 14.67	-10.94 ± 15.43	2.54 ± 2.32	5.28 ± 4.06	49.10 ± 31.36

ตารางที่ 21 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

A2	NCDF + UNet						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.94 ± 0.07	0.89 ± 0.12	11.08 ± 11.90	-4.31 ± 7.45	2.12 ± 2.50	4.59 ± 4.80	40.87 ± 20.53
2	0.96 ± 0.01	0.93 ± 0.02	6.88 ± 1.50	0.47 ± 3.08	2.45 ± 2.37	8.09 ± 8.15	70.51 ± 46.64
3	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.02	6.40 ± 1.96	-1.59 ± 2.23	1.17 ± 0.57	4.05 ± 3.43	69.86 ± 49.96
4	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.01	5.77 ± 1.33	-0.10 ± 1.97	2.04 ± 1.35	6.66 ± 4.75	117.94 ± 156.14
5	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01	4.39 ± 0.95	-0.60 ± 1.69	0.67 ± 0.28	2.10 ± 1.74	49.66 ± 49.91
AVERAGE	0.96 ± 0.04	0.93 ± 0.06	6.90 ± 5.86	-1.23 ± 4.21	1.69 ± 1.79	5.10 ± 5.38	69.77 ± 83.22

ตารางที่ 22 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + Mean-Shift* ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

B1	NbSD + UNet + Mean-Shift*						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.82 ± 0.19	0.73 ± 0.25	26.70 ± 24.87	-24.81 ± 24.59	3.97 ± 3.47	6.67 ± 4.96	40.88 ± 22.93
2	0.94 ± 0.04	0.89 ± 0.07	11.08 ± 6.78	-5.63 ± 9.23	2.05 ± 1.22	4.73 ± 2.81	45.47 ± 31.99
3	0.94 ± 0.04	0.90 ± 0.07	10.46 ± 6.96	-6.94 ± 7.39	1.85 ± 1.16	4.28 ± 1.65	45.89 ± 21.77
4	0.91 ± 0.07	0.85 ± 0.12	15.06 ± 11.82	-14.20 ± 12.19	2.97 ± 2.43	5.93 ± 4.17	47.08 ± 22.26
5	0.96 ± 0.02	0.93 ± 0.03	7.45 ± 2.99	-4.48 ± 3.59	1.81 ± 1.31	4.48 ± 3.37	33.55 ± 18.35
AVERAGE	0.92 ± 0.11	0.86 ± 0.15	14.15 ± 14.59	-11.21 ± 15.30	2.53 ± 2.25	5.22 ± 3.64	42.57 ± 24.08

ตารางที่ 23 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + Mean-Shift* ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

B2	NCDF + UNet + Mean-Shift*						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.94 ± 0.07	0.89 ± 0.12	11.03 ± 11.70	-4.75 ± 7.55	1.99 ± 2.34	4.24 ± 4.59	35.05 ± 19.36
2	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.50 ± 0.74	-0.54 ± 2.68	1.25 ± 0.46	3.57 ± 2.87	42.43 ± 33.51
3	0.97 ± 0.01	0.93 ± 0.02	6.58 ± 1.92	-1.96 ± 2.00	1.01 ± 0.28	2.47 ± 0.75	40.29 ± 24.25
4	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.02	6.10 ± 1.69	-0.67 ± 2.28	2.01 ± 1.35	5.29 ± 3.49	48.52 ± 18.43
5	0.98 ± 0.01	0.95 ± 0.01	4.60 ± 1.04	-0.88 ± 1.62	0.67 ± 0.28	1.58 ± 0.93	20.88 ± 13.29
AVERAGE	0.96 ± 0.04	0.93 ± 0.06	6.96 ± 5.73	-1.76 ± 4.16	1.39 ± 1.33	3.43 ± 3.17	37.43 ± 24.36

ตารางที่ 24 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + Mean-Shift ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

C1	NbSD + UNet + Mean-Shift						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.81 ± 0.20	0.73 ± 0.25	27.24 ± 25.33	-25.79 ± 25.63	6.49 ± 6.81	14.78 ± 18.79	91.99 ± 117.17
2	0.94 ± 0.04	0.89 ± 0.07	11.03 ± 7.05	-5.55 ± 9.53	1.88 ± 1.42	3.47 ± 2.17	34.39 ± 13.79
3	0.94 ± 0.04	0.89 ± 0.07	10.51 ± 7.33	-6.99 ± 7.82	1.89 ± 1.28	4.38 ± 1.86	43.83 ± 20.80
4	0.91 ± 0.07	0.85 ± 0.12	15.04 ± 12.08	-14.17 ± 12.46	3.15 ± 2.73	6.55 ± 5.40	56.95 ± 47.45
5	0.96 ± 0.02	0.92 ± 0.03	7.54 ± 3.29	-4.57 ± 3.95	1.86 ± 1.43	4.49 ± 3.57	32.26 ± 18.74
AVERAGE	0.91 ± 0.11	0.86 ± 0.15	14.27 ± 14.94	-11.41 ± 15.93	3.06 ± 3.84	6.74 ± 9.78	51.88 ± 61.44

ตารางที่ 25 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + Mean-Shift ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

C2	NCDF + UNet + Mean-Shift						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.94 ± 0.07	0.89 ± 0.12	11.06 ± 11.78	-4.75 ± 7.64	2.05 ± 2.40	4.39 ± 4.65	35.93 ± 18.05
2	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.33 ± 0.75	-0.28 ± 2.83	1.10 ± 0.30	2.68 ± 1.79	32.80 ± 21.06
3	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.02	6.44 ± 1.99	-1.81 ± 2.23	0.98 ± 0.28	2.38 ± 0.76	37.57 ± 23.41
4	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.02	5.85 ± 1.55	-0.35 ± 2.19	1.94 ± 1.34	5.12 ± 3.55	54.36 ± 23.59
5	0.98 ± 0.01	0.95 ± 0.01	4.56 ± 1.31	-0.80 ± 2.02	0.69 ± 0.42	1.63 ± 1.33	20.31 ± 13.45
AVERAGE	0.96 ± 0.04	0.93 ± 0.06	6.85 ± 5.79	-1.60 ± 4.29	1.35 ± 1.35	3.24 ± 3.07	36.19 ± 22.78

ตารางที่ 26 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NbSD + CC ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

D1	NbSD + UNet + Connected Components						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.82 ± 0.19	0.73 ± 0.25	26.53 ± 24.83	-25.31 ± 25.38	4.22 ± 3.66	7.60 ± 5.82	56.08 ± 44.71
2	0.94 ± 0.04	0.89 ± 0.07	10.91 ± 6.91	-5.37 ± 9.44	1.82 ± 1.35	3.25 ± 2.05	26.60 ± 9.72
3	0.94 ± 0.04	0.90 ± 0.07	10.17 ± 7.29	-7.04 ± 7.46	1.64 ± 1.34	3.08 ± 2.25	25.79 ± 10.29
4	0.92 ± 0.07	0.85 ± 0.12	14.76 ± 12.08	-13.89 ± 12.46	2.92 ± 2.62	5.42 ± 4.73	41.93 ± 27.01
5	0.96 ± 0.02	0.93 ± 0.03	7.28 ± 3.04	-4.31 ± 3.68	1.79 ± 1.34	4.39 ± 3.51	30.93 ± 19.62
AVERAGE	0.92 ± 0.11	0.86 ± 0.15	13.93 ± 14.67	-11.19 ± 15.73	2.48 ± 2.44	4.75 ± 4.23	36.27 ± 27.86

ตารางที่ 27 สรุปผลความแม่นยำการประมวลผลด้วย NCDF + CC ของชุดทดสอบที่ 1 – 5

D2	NCDF + UNet + Connected Components						
k-Fold	avg Dice	avg Jaccard	avg VOE	avg RVD	avg ASSD	avg RMSD	avg MSD
1	0.94 ± 0.06	0.90 ± 0.10	9.96 ± 10.17	-6.09 ± 10.50	1.33 ± 1.24	2.80 ± 2.34	24.42 ± 11.20
2	0.97 ± 0.00	0.94 ± 0.01	6.24 ± 0.79	-0.25 ± 2.82	1.00 ± 0.24	2.22 ± 0.68	29.42 ± 11.79
3	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.02	6.31 ± 2.02	-1.69 ± 2.17	0.92 ± 0.33	1.88 ± 0.80	23.99 ± 12.86
4	0.97 ± 0.01	0.94 ± 0.01	5.70 ± 1.29	-0.18 ± 2.01	1.83 ± 1.32	4.71 ± 3.60	39.29 ± 20.94
5	0.98 ± 0.01	0.96 ± 0.01	4.38 ± 0.96	-0.61 ± 1.69	0.63 ± 0.27	1.52 ± 0.98	20.85 ± 13.69
AVERAGE	0.97 ± 0.03	0.93 ± 0.05	6.52 ± 5.00	-1.76 ± 5.50	1.14 ± 0.92	2.62 ± 2.29	27.59 ± 15.72

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ตามที่คุณวิจัยได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องเชิงลึกสถาปัตยกรรม U-Net ร่วมกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีอย่างมีประสิทธิภาพขึ้น วัตถุประสงค์หลักที่ได้กำหนดไว้มีดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาและคิดค้นอัลกอริทึมในการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาและความแม่นยำสูง เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางคลินิก
- 2) เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีแบบอัตโนมัติ
- 3) เพื่อทวนสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น และเน้นไปที่ชุดข้อมูลเดียวกัน

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมีผลต่อการฝึกการเรียนรู้ของเครื่องซึ่งการใช้วิธีการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NCDF สมการที่ (19) ให้ผลของการแยกพื้นที่ตับได้ดีขึ้นกว่าการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NbSD สมการที่ (20) ซึ่งวิธีการปรับค่าเอชยูด้วยฟังก์ชัน NCDF นั้นยังมีแนวทางที่สามารถนำไปปรับใช้กับอวัยวะอื่น ๆ ได้โดยการปรับเพิ่มลดค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผู้วิจัยได้เสนอการแบ่งกลุ่มแบบย้ายค่าเฉลี่ยสำหรับการแยกพื้นที่ตับซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นแสดงให้เห็นดัง

ตารางที่ 24 ถึง ตารางที่ 27 แสดงถึงความแม่นยำของการแยกพื้นที่ตับด้วยการวัดโดยดัชนีความคล้ายคลึงกันที่เพิ่มขึ้น โดยใช้วิธีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือแบบ 5-fold Cross-Validation ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังตารางที่ 27 อยู่ในระดับร้อยละ 97 และใช้เวลาประมวลผล 0.35 วินาทีโดยเฉลี่ย (ประมาณ 75 วินาทีต่อภาพ)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถคิดค้นอัลกอริทึมและพัฒนาโมเดลสำหรับการแยกพื้นที่ตับจากภาพซีทีที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลา และความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับร้อยละ 97 ดังตารางที่ 27

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัย มีบางประเด็นที่เป็นอุปสรรคส่งผลให้การดำเนินงานเกิดปัญหาดังต่อไปนี้

5.2.1 พื้นที่ของหน่วยความจำหลักและหน่วยความจำสำรองมีผลต่อเวลาในการฝึกและทดสอบการเรียนรู้ของระบบ

5.2.2 จำนวนของภาพซีทีที่นำมาใช้ในการฝึกและทดสอบการเรียนรู้ของระบบมีอย่างจำกัด

5.3 ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องตามที่คุณวิจัยเสนอ ควรมีการดำเนินการเปรียบเทียบเพิ่มเติมกับภาพซีทีในช่องท้องที่เป็นอวัยวะอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ตับอ่อน ม้าม ไต เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- [1] อรุณี ไทยะกุล, "การประเมินการใช้เครื่องตรวจวินิจฉัยทางรังสีอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในสถานบริการสุขภาพภาครัฐ," สถาบันวิจัยและประเมินเทคโนโลยีทางการแพทย์ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2555.
- [2] L. A. Torre, F. Bray, R. L. Siegel, J. Ferlay, J. Lortet-Tieulent, and A. Jemal, "Global cancer statistics, 2012," *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 65, no. 2, pp. 87-108, 2015 2015, doi: 10.3322/caac.21262.
- [3] C. Robert, *X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY IN BIOMEDICAL ENGINEERING*. Springer London.
- [4] A. L. B. M. T. M. M. C. R. B. Maximilian F Reiser, *Multislice CT*, 3 ed. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [5] T. Heimann, H. Meinzer, and I. Wolf, "A Statistical Deformable Model for the Segmentation of Liver CT Volumes Using Extended Training Data," *Proc. MICCAI Work*, pp. 161-166, 2007 2007.
- [6] T. Heimann, B. van Ginneken, and M. A. Styner, "Comparison and Evaluation of Methods for Liver Segmentation From CT Datasets," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 28, no. 8, pp. 1251-1265, 2009/08// 2009, doi: 10.1109/TMI.2009.2013851.
- [7] S. Arya, D. M. Mount, N. S. Netanyahu, R. Silverman, and A. Y. Wu, "An Optimal Algorithm for Approximate Nearest Neighbor Searching Fixed Dimensions," *J. ACM*, vol. 45, no. 6, pp. 891-923, 1998/11// 1998, doi: 10.1145/293347.293348.
- [8] D. P. Huttenlocher, G. A. Klanderman, and W. J. Rucklidge, "Comparing images using the Hausdorff distance," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 15, no. 9, pp. 850-863, 1993/09// 1993, doi: 10.1109/34.232073.
- [9] X. Chen, J. K. Udupa, U. Bagci, Y. Zhuge, and J. Yao, "Medical Image Segmentation by Combining Graph Cuts and Oriented Active Appearance Models," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 4, pp. 2035-2046, 2012/04// 2012, doi: 10.1109/TIP.2012.2186306.
- [10] O. Gloger, K. D. Toennies, and J.-P. Kuehn, "Fully Automatic Liver Volumetry Using 3D Level Set Segmentation for Differentiated Liver Tissue Types in Multiple Contrast MR

- Datasets," 2011 2011, pp. 512-523.
- [11] H. Fujimoto, L. Gu, and T. Kaneko, "Recognition of abdominal organs using 3D mathematical morphology," *Systems and Computers in Japan*, vol. 33, no. 8, pp. 75-83, 2002 2002.
- [12] F. Liu, B. Zhao, P. K. Kijewski, L. Wang, and L. H. Schwartz, "Liver segmentation for CT images using GVF snake," *Medical Physics*, vol. 32, no. 12, pp. 3699-3706, 2005 2005, doi: <http://dx.doi.org/10.1118/1.2132573>.
- [13] K. Khoshelham, "Extending generalized Hough transform to detect 3D objects in laser range data," 2007 2007.
- [14] R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri, "Shape modeling with front propagation: a level set approach," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 17, no. 2, pp. 158-175, 1995/02// 1995, doi: 10.1109/34.368173.
- [15] A. X. Falcão, J. K. Udupa, S. Samarasekera, S. Sharma, B. E. Hirsch, and R. d. A. Lotufo, "User-Steered Image Segmentation Paradigms: Live Wire and Live Lane," *Graphical Models and Image Processing*, vol. 60, no. 4, pp. 233-260, 1998/07// 1998, doi: 10.1006/gmip.1998.0475.
- [16] H. Masoumi, A. Behrad, M. A. Pourmina, and A. Roosta, "Automatic liver segmentation in MRI images using an iterative watershed algorithm and artificial neural network," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 7, no. 5, pp. 429-437, 2012/09// 2012, doi: 10.1016/j.bspc.2012.01.002.
- [17] J. K. Udupa, P. K. Saha, and R. A. Lotufo, "Disclaimer: "Relative fuzzy connectedness and object definition: theory, algorithms, and applications in image segmentation"," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 11, pp. I-1500, 2002/11// 2002, doi: 10.1109/TPAMI.2002.1046162.
- [18] O. Veksler, "Star Shape Prior for Graph-Cut Image Segmentation," in *Computer Vision – ECCV 2008: 10th European Conference on Computer Vision, Marseille, France, October 12-18, 2008, Proceedings, Part III*, D. Forsyth, P. Torr, and A. Zisserman Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 454-467.
- [19] V. Kolmogorov and R. Zabini, "What energy functions can be minimized via graph cuts?," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 2, pp. 147-

- 159, 2004/02// 2004, doi: 10.1109/TPAMI.2004.1262177.
- [20] Y. Boykov and V. Kolmogorov, "An experimental comparison of min-cut/max- flow algorithms for energy minimization in vision," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 9, pp. 1124-1137, 2004/09// 2004, doi: 10.1109/TPAMI.2004.60.
- [21] S. Seifert *et al.*, "Hierarchical parsing and semantic navigation of full body CT data," 2009 2009: International Society for Optics and Photonics, pp. 725902-725902.
- [22] H. Ling, S. K. Zhou, Y. Zheng, B. Georgescu, M. Suehling, and D. Comaniciu, "Hierarchical, learning-based automatic liver segmentation," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, 2008/06/23/28 2008, pp. 1-8, doi: 10.1109/CVPR.2008.4587393.
- [23] A. F. Frangi, D. Rueckert, J. A. Schnabel, and W. J. Niessen, "Automatic construction of multiple-object three-dimensional statistical shape models: application to cardiac modeling," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 21, no. 9, pp. 1151-1166, 2002/09// 2002, doi: 10.1109/TMI.2002.804426.
- [24] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, and J. Graham, "Active Shape Models-Their Training and Application," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 61, no. 1, pp. 38-59, 1995/01// 1995, doi: 10.1006/cviu.1995.1004.
- [25] M. B. Stegmann, B. K. Ersboll, and R. Larsen, "FAME-a flexible appearance modeling environment," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 22, no. 10, pp. 1319-1331, 2003/10// 2003, doi: 10.1109/TMI.2003.817780.
- [26] T. F. Cootes, G. J. Edwards, and C. J. Taylor, "Active appearance models," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 6, pp. 681-685, 2001/06// 2001, doi: 10.1109/34.927467.
- [27] T. Okada, M. G. Linguraru, M. Hori, R. M. Summers, N. Tomiyama, and Y. Sato, "Abdominal multi-organ segmentation from CT images using conditional shape–location and unsupervised intensity priors," *Medical Image Analysis*, vol. 26, no. 1, pp. 1-18, 2015/12// 2015, doi: 10.1016/j.media.2015.06.009.
- [28] G. Li, X. Chen, F. Shi, W. Zhu, J. Tian, and D. Xiang, "Automatic Liver Segmentation Based on Shape Constraints and Deformable Graph Cut in Ct Images," *IEEE Transactions*

- on Image Processing*, vol. 24, no. 12, pp. 5315-5329, 2015/12// 2015, doi: 10.1109/TIP.2015.2481326.
- [29] C. Li *et al.*, "A Likelihood and Local Constraint Level Set Model for Liver Tumor Segmentation from CT Volumes," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 60, no. 10, pp. 2967-2977, 2013/10// 2013, doi: 10.1109/TBME.2013.2267212.
- [30] D. Kainmüller, T. Lange, and H. Lamecker, "Shape constrained automatic segmentation of the liver based on a heuristic intensity model," 2007 2007, pp. 109-116.
- [31] A. Wimmer, G. Soza, and J. Hornegger, "A Generic Probabilistic Active Shape Model for Organ Segmentation," in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2009: 12th International Conference, London, UK, September 20-24, 2009, Proceedings, Part II*, G.-Z. Yang, D. Hawkes, D. Rueckert, A. Noble, and C. Taylor Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 26-33.
- [32] X. Zhang, Tian, J. *, K. Deng, Y. Wu, and X. Li, "Automatic Liver Segmentation Using a Statistical Shape Model With Optimal Surface Detection," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 57, no. 10, pp. 2622-2626, 2010/10// 2010, doi: 10.1109/TBME.2010.2056369.
- [33] T. F. Cootes, A. Hill, C. J. Taylor, and J. Haslam, *The Use of Active Shape Models For Locating Structures in Medical Images*. 1994.
- [34] M. S. Floater and K. Hormann, "Surface Parameterization: a Tutorial and Survey," in *Advances in Multiresolution for Geometric Modelling*, N. A. Dodgson, M. S. Floater, and M. A. Sabin Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 157-186.
- [35] T. F. Cootes and C. J. Taylor, "Statistical models of appearance for medical image analysis and computer vision," 2001 2001: International Society for Optics and Photonics, pp. 236-248.
- [36] M. B. Thorsten, *Computed Tomography*. Photon Statistics to Modern Cone-Beam CT. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [37] H. Kaizhu, *Machine Learning*. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [38] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, and A. F. Frangi, Eds., 2015 2015: Springer International Publishing, pp. 234-241.



ภาคผนวก

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความละเอียด	รหัสภาพพื้นที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01102	0.63	0.46	53.81	- 52.23	8.20	11.98	258.60
SR0.00	DB01104	0.96	0.92	7.69	- 3.89	2.23	6.56	100.65
SR0.00	DB01105	0.12	0.07	93.38	- 86.69	17.59	26.06	128.98
SR0.00	DB01119	0.82	0.69	30.92	- 24.70	8.72	13.12	104.24
SR0.70	DB01102	0.97	0.94	6.11	- 1.51	1.94	5.74	66.32
SR0.70	DB01104	0.96	0.92	8.13	- 4.14	2.36	6.74	100.32
SR0.70	DB01105	0.47	0.30	69.63	- 32.05	18.51	28.44	207.07
SR0.70	DB01119	0.96	0.92	8.23	- 1.24	5.27	17.63	121.46
SR0.80	DB01102	0.97	0.95	5.05	- 0.05	1.01	2.80	64.33
SR0.80	DB01104	0.97	0.94	5.73	- 2.13	2.49	9.68	265.60
SR0.80	DB01105	0.53	0.36	63.99	- 4.59	17.69	27.63	164.31
SR0.80	DB01119	0.95	0.91	9.22	- 1.87	7.82	21.04	113.54
SR0.90	DB01102	0.97	0.95	5.09	- 0.44	0.91	2.20	30.13
SR0.90	DB01104	0.97	0.94	5.71	- 1.96	2.10	8.15	84.72
SR0.90	DB01105	0.61	0.44	56.42	- 15.86	17.43	28.62	154.23
SR0.90	DB01119	0.96	0.91	8.57	- 1.86	5.98	17.06	105.77
SR1.00	DB01102	0.97	0.95	5.09	- 1.02	0.86	1.87	26.50
SR1.00	DB01104	0.97	0.94	6.11	- 1.77	1.96	6.85	74.28
SR1.00	DB01105	0.63	0.46	53.78	- 22.82	17.43	29.23	153.34
SR1.00	DB01119	0.96	0.92	8.46	- 1.37	4.59	13.10	92.25
SR1.20	DB01102	0.97	0.94	6.03	- 1.73	1.04	2.31	41.12
SR1.20	DB01104	0.97	0.93	6.76	- 2.15	1.59	4.77	64.68
SR1.20	DB01105	0.66	0.49	51.05	- 29.55	16.60	27.87	152.72
SR1.20	DB01119	0.95	0.91	8.68	- 1.06	3.93	11.64	92.28
SR0.75	DB01102	0.97	0.94	5.58	- 0.56	1.43	4.84	66.62
SR0.75	DB01104	0.97	0.94	6.36	- 2.45	2.16	8.16	107.57
SR0.75	DB01105	0.47	0.31	69.10	- 18.88	17.94	27.65	160.96
SR0.75	DB01119	0.95	0.91	9.00	- 1.04	7.66	21.07	119.82
SR0.85	DB01102	0.97	0.95	4.98	- 0.30	0.92	2.35	35.31
SR0.85	DB01104	0.97	0.94	5.66	- 2.00	2.35	9.18	94.54
SR0.85	DB01105	0.59	0.41	58.55	- 10.35	17.47	28.14	154.55
SR0.85	DB01119	0.95	0.91	8.75	- 1.75	6.66	18.63	110.35
SR1.10	DB01102	0.97	0.95	5.44	- 1.52	0.94	2.16	29.45
SR1.10	DB01104	0.97	0.94	6.23	- 2.12	1.57	4.99	69.40
SR1.10	DB01105	0.66	0.49	51.02	- 26.91	16.66	28.19	153.14
SR1.10	DB01119	0.95	0.91	8.84	- 1.61	4.24	12.11	92.54
SR1.15	DB01102	0.97	0.94	5.80	- 1.85	1.01	2.26	29.30
SR1.15	DB01104	0.97	0.94	6.50	- 1.88	1.58	4.79	65.87
SR1.15	DB01105	0.66	0.49	50.86	- 28.57	16.63	27.99	152.30
SR1.15	DB01119	0.96	0.91	8.57	- 1.18	4.00	11.50	89.63
SR1.25	DB01102	0.97	0.94	6.20	- 1.79	1.05	2.20	27.19
SR1.25	DB01104	0.96	0.93	7.05	- 2.39	1.61	4.71	79.48
SR1.25	DB01105	0.66	0.49	51.19	- 33.47	16.57	27.53	151.27
SR1.25	DB01119	0.95	0.91	8.85	- 1.03	3.85	11.19	92.62
SR1.30	DB01102	0.97	0.93	6.61	- 1.59	1.10	2.19	17.68
SR1.30	DB01104	0.96	0.93	7.14	- 2.67	1.60	4.71	80.45
SR1.30	DB01105	0.65	0.48	52.15	- 36.61	16.72	27.66	173.58
SR1.30	DB01119	0.95	0.91	9.29	- 1.35	3.84	10.97	91.06

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01106	0.95	0.90	9.63	4.37	3.95	11.14	87.68
SR0.00	DB01107	0.91	0.84	15.76	- 3.75	10.85	26.11	156.03
SR0.00	DB01108	0.91	0.84	16.34	- 11.03	5.33	11.40	180.78
SR0.00	DB01113	0.90	0.82	17.62	8.95	9.32	19.80	108.66
SR0.70	DB01106	0.96	0.92	8.43	2.77	2.95	9.52	63.44
SR0.70	DB01107	0.87	0.78	22.27	- 13.24	7.97	18.81	103.62
SR0.70	DB01108	0.93	0.88	12.31	- 5.88	4.27	8.60	101.68
SR0.70	DB01113	0.90	0.82	17.72	9.08	9.10	19.50	108.16
SR0.80	DB01106	0.95	0.91	8.88	4.81	3.25	10.43	103.72
SR0.80	DB01107	0.91	0.84	16.12	- 3.16	11.61	27.45	154.99
SR0.80	DB01108	0.96	0.92	8.48	- 2.33	2.31	5.13	97.48
SR0.80	DB01113	0.92	0.86	14.45	6.18	6.77	16.07	104.82
SR0.90	DB01106	0.96	0.92	8.50	3.85	3.11	10.05	74.87
SR0.90	DB01107	0.92	0.86	14.17	- 6.41	8.75	21.87	209.32
SR0.90	DB01108	0.96	0.92	8.01	- 2.35	1.77	3.60	69.93
SR0.90	DB01113	0.93	0.86	13.76	4.97	5.43	13.09	98.89
SR1.00	DB01106	0.95	0.91	8.75	3.67	2.57	8.39	76.24
SR1.00	DB01107	0.92	0.85	14.53	- 6.36	8.08	19.97	140.21
SR1.00	DB01108	0.96	0.92	8.47	- 2.86	1.81	3.62	67.81
SR1.00	DB01113	0.92	0.85	14.94	2.91	5.28	12.00	88.18
SR1.20	DB01106	0.94	0.89	11.43	8.10	3.15	8.51	87.11
SR1.20	DB01107	0.93	0.87	13.44	- 7.40	5.92	16.99	120.83
SR1.20	DB01108	0.95	0.91	8.91	- 3.69	1.82	3.58	46.86
SR1.20	DB01113	0.91	0.83	17.22	2.78	6.15	13.86	145.61
SR0.75	DB01106	0.96	0.92	8.39	3.45	3.13	10.48	105.69
SR0.75	DB01107	0.90	0.83	17.43	- 3.95	10.06	23.73	138.99
SR0.75	DB01108	0.95	0.90	9.83	- 3.36	3.30	7.54	99.81
SR0.75	DB01113	0.92	0.85	15.46	7.12	7.71	17.71	107.19
SR0.85	DB01106	0.95	0.91	9.13	5.06	3.48	10.92	90.70
SR0.85	DB01107	0.92	0.85	14.65	- 6.02	9.23	23.85	304.00
SR0.85	DB01108	0.96	0.92	8.06	- 2.31	1.91	4.00	98.64
SR0.85	DB01113	0.92	0.86	14.17	6.37	6.20	14.83	103.02
SR1.10	DB01106	0.95	0.90	9.83	5.24	3.01	9.16	88.68
SR1.10	DB01107	0.92	0.86	14.19	- 6.40	7.55	19.98	121.96
SR1.10	DB01108	0.95	0.91	8.79	- 3.61	1.81	3.56	37.75
SR1.10	DB01113	0.91	0.84	15.90	3.91	5.76	12.89	87.43
SR1.15	DB01106	0.95	0.90	10.13	6.08	2.93	8.64	88.92
SR1.15	DB01107	0.92	0.86	14.12	- 6.81	7.52	20.11	121.25
SR1.15	DB01108	0.95	0.91	8.85	- 3.61	1.82	3.60	46.24
SR1.15	DB01113	0.91	0.83	16.56	3.93	5.94	13.49	89.24
SR1.25	DB01106	0.93	0.87	12.56	9.40	3.45	9.01	72.21
SR1.25	DB01107	0.93	0.87	13.35	- 8.21	5.25	15.45	142.05
SR1.25	DB01108	0.95	0.91	8.97	- 3.82	1.79	3.47	46.60
SR1.25	DB01113	0.90	0.82	18.48	2.55	6.50	14.47	148.67
SR1.30	DB01106	0.92	0.85	14.63	12.09	5.12	12.79	82.57
SR1.30	DB01107	0.93	0.87	13.06	- 8.34	4.57	13.78	114.38
SR1.30	DB01108	0.95	0.91	9.09	- 3.92	1.84	3.60	66.02
SR1.30	DB01113	0.88	0.79	20.86	4.04	7.66	16.26	151.76

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01101	0.94	0.89	10.66	1.17	5.45	16.75	115.65
SR0.00	DB01109	0.95	0.91	8.92	- 2.41	2.57	6.63	56.52
SR0.00	DB01110	0.88	0.79	20.93	- 17.20	4.31	7.45	81.03
SR0.00	DB01120	0.96	0.92	7.94	0.61	10.43	35.58	259.11
SR0.70	DB01101	0.94	0.89	11.28	- 2.55	4.41	13.53	105.24
SR0.70	DB01109	0.95	0.90	10.38	- 2.90	2.95	7.00	65.31
SR0.70	DB01110	0.92	0.86	14.03	- 8.44	3.03	5.89	123.04
SR0.70	DB01120	0.96	0.92	7.92	0.59	12.17	39.18	259.57
SR0.80	DB01101	0.95	0.90	9.56	0.55	4.31	14.34	107.23
SR0.80	DB01109	0.96	0.92	7.70	- 2.95	2.22	6.26	49.81
SR0.80	DB01110	0.94	0.88	12.10	- 5.57	2.50	5.29	45.84
SR0.80	DB01120	0.97	0.94	5.62	- 0.95	8.32	33.33	246.10
SR0.90	DB01101	0.95	0.91	8.76	0.27	2.96	10.55	105.32
SR0.90	DB01109	0.96	0.93	7.15	- 3.09	1.84	5.42	50.50
SR0.90	DB01110	0.94	0.88	11.66	- 4.26	2.33	5.02	94.32
SR0.90	DB01120	0.97	0.94	5.60	- 1.11	5.30	24.53	246.42
SR1.00	DB01101	0.95	0.91	8.89	0.89	3.23	10.89	105.92
SR1.00	DB01109	0.96	0.93	7.46	- 3.39	1.81	5.20	50.39
SR1.00	DB01110	0.94	0.89	11.43	- 3.82	2.16	4.81	43.28
SR1.00	DB01120	0.97	0.94	5.98	- 1.27	4.49	22.27	262.93
SR1.20	DB01101	0.95	0.91	9.01	1.40	2.78	8.54	99.96
SR1.20	DB01109	0.96	0.92	8.49	- 2.67	2.12	5.98	50.49
SR1.20	DB01110	0.94	0.89	11.05	- 3.74	1.93	4.25	37.76
SR1.20	DB01120	0.96	0.93	7.00	- 0.47	3.02	16.82	267.05
SR0.75	DB01101	0.94	0.89	10.53	1.04	5.54	16.89	110.75
SR0.75	DB01109	0.95	0.91	8.88	- 2.43	2.51	6.55	56.35
SR0.75	DB01110	0.93	0.87	12.82	- 6.82	2.67	5.39	43.82
SR0.75	DB01120	0.97	0.93	6.65	0.03	11.84	39.55	253.23
SR0.85	DB01101	0.95	0.91	9.10	0.24	3.37	11.96	108.28
SR0.85	DB01109	0.96	0.93	7.37	- 3.14	1.94	5.67	50.79
SR0.85	DB01110	0.94	0.88	11.77	- 4.67	2.40	5.20	92.23
SR0.85	DB01120	0.97	0.94	5.84	- 0.98	7.61	31.05	244.02
SR1.10	DB01101	0.95	0.91	8.75	1.42	2.79	9.10	99.66
SR1.10	DB01109	0.96	0.92	7.93	- 3.36	2.00	5.72	51.00
SR1.10	DB01110	0.94	0.89	10.89	- 3.28	1.98	4.47	52.10
SR1.10	DB01120	0.97	0.94	6.32	- 1.45	2.57	14.56	267.99
SR1.15	DB01101	0.95	0.91	8.89	1.22	2.87	9.37	103.07
SR1.15	DB01109	0.96	0.92	7.98	- 3.06	2.02	5.78	50.77
SR1.15	DB01110	0.94	0.89	10.88	- 3.30	1.96	4.36	39.99
SR1.15	DB01120	0.96	0.93	6.82	- 0.84	2.76	15.87	267.33
SR1.25	DB01101	0.95	0.91	9.42	1.48	2.98	8.91	127.60
SR1.25	DB01109	0.95	0.91	9.06	- 2.70	2.22	6.07	50.45
SR1.25	DB01110	0.94	0.89	11.22	- 3.77	1.93	4.24	40.27
SR1.25	DB01120	0.96	0.93	7.38	0.10	3.45	18.35	267.92
SR1.30	DB01101	0.95	0.90	9.57	1.13	2.83	8.47	106.78
SR1.30	DB01109	0.95	0.91	9.26	- 2.15	2.29	6.37	63.77
SR1.30	DB01110	0.94	0.88	11.93	- 4.30	1.99	4.22	41.19
SR1.30	DB01120	0.96	0.92	7.57	0.45	3.60	18.71	268.29

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD ชุดทดสอบที่ 4

ค่าความละเอียด	รหัสภาพพื้นที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01111	0.90	0.81	18.65	2.04	19.21	46.98	225.92
SR0.00	DB01112	0.93	0.87	12.95	12.22	8.23	17.92	104.82
SR0.00	DB01114	0.88	0.78	21.52	9.94	39.57	82.99	287.43
SR0.00	DB01116	0.90	0.82	17.62	4.95	9.00	17.10	114.00
SR0.70	DB01111	0.93	0.86	13.71	4.37	20.34	52.62	253.42
SR0.70	DB01112	0.93	0.87	12.91	12.16	8.18	17.82	104.91
SR0.70	DB01114	0.88	0.78	22.07	5.51	36.13	76.88	290.52
SR0.70	DB01116	0.82	0.69	30.71	19.20	11.59	19.06	114.01
SR0.80	DB01111	0.93	0.88	12.47	3.44	18.65	49.14	254.30
SR0.80	DB01112	0.97	0.93	6.68	5.16	4.29	13.90	100.69
SR0.80	DB01114	0.88	0.78	22.20	15.58	43.40	86.87	292.64
SR0.80	DB01116	0.95	0.91	8.98	2.44	6.10	15.56	107.77
SR0.90	DB01111	0.93	0.87	13.25	5.64	21.52	53.98	225.75
SR0.90	DB01112	0.97	0.95	5.38	3.11	3.46	12.93	111.00
SR0.90	DB01114	0.88	0.78	21.52	15.37	40.68	84.25	295.17
SR0.90	DB01116	0.97	0.95	4.91	1.52	2.01	7.08	104.50
SR1.00	DB01111	0.93	0.86	13.54	5.10	19.52	49.30	222.10
SR1.00	DB01112	0.97	0.95	4.97	2.43	2.47	10.78	107.20
SR1.00	DB01114	0.87	0.77	23.43	17.23	45.04	89.20	298.24
SR1.00	DB01116	0.98	0.95	4.84	1.15	2.00	7.62	190.84
SR1.20	DB01111	0.93	0.86	13.84	3.10	18.70	49.01	222.75
SR1.20	DB01112	0.97	0.95	5.17	1.84	1.24	5.27	117.88
SR1.20	DB01114	0.85	0.74	25.75	17.65	44.06	85.06	272.81
SR1.20	DB01116	0.97	0.95	5.19	2.04	2.27	8.36	91.12
SR0.75	DB01111	0.93	0.87	13.09	3.05	20.60	53.27	246.33
SR0.75	DB01112	0.96	0.92	8.02	6.80	5.06	14.31	99.53
SR0.75	DB01114	0.88	0.79	20.72	12.70	41.05	84.15	291.49
SR0.75	DB01116	0.91	0.84	16.08	3.27	8.92	17.65	113.65
SR0.85	DB01111	0.93	0.87	12.86	4.56	18.66	48.94	229.72
SR0.85	DB01112	0.97	0.94	5.78	3.74	3.81	13.39	104.38
SR0.85	DB01114	0.88	0.78	21.58	14.92	41.96	85.58	294.52
SR0.85	DB01116	0.97	0.94	6.17	2.03	3.64	12.32	107.64
SR1.10	DB01111	0.93	0.86	13.57	4.52	19.19	49.47	223.33
SR1.10	DB01112	0.97	0.95	4.99	1.85	1.55	6.90	104.44
SR1.10	DB01114	0.86	0.75	25.05	17.81	48.73	91.71	289.55
SR1.10	DB01116	0.97	0.95	5.17	1.79	2.28	8.28	91.70
SR1.15	DB01111	0.92	0.86	14.05	4.22	19.93	50.59	224.36
SR1.15	DB01112	0.97	0.95	4.95	1.77	1.26	5.53	101.34
SR1.15	DB01114	0.86	0.75	24.75	17.18	44.97	86.82	291.99
SR1.15	DB01116	0.97	0.95	5.23	1.82	2.31	8.43	91.26
SR1.25	DB01111	0.93	0.87	13.50	1.36	16.36	44.28	221.40
SR1.25	DB01112	0.97	0.94	5.70	2.39	1.27	4.34	94.65
SR1.25	DB01114	0.85	0.74	25.89	17.82	42.58	83.25	273.29
SR1.25	DB01116	0.97	0.95	5.14	2.01	2.05	7.60	91.59
SR1.30	DB01111	0.93	0.86	13.62	0.86	13.93	39.37	208.37
SR1.30	DB01112	0.97	0.94	6.25	2.55	1.37	4.44	66.40
SR1.30	DB01114	0.85	0.75	25.50	17.00	41.01	81.33	267.65
SR1.30	DB01116	0.97	0.95	5.17	1.82	1.89	7.09	90.98

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD ชุดทดสอบที่ 5

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01103	0.97	0.94	6.39	2.31	3.70	15.40	122.86
SR0.00	DB01115	0.94	0.88	11.91	5.03	23.29	55.46	299.65
SR0.00	DB01117	0.94	0.89	10.73	6.62	4.36	10.92	89.70
SR0.00	DB01118	0.94	0.89	11.27	- 1.99	6.57	17.30	198.20
SR0.70	DB01103	0.93	0.87	13.44	- 4.31	6.64	18.15	122.93
SR0.70	DB01115	0.94	0.89	11.02	9.10	27.71	60.80	302.43
SR0.70	DB01117	0.95	0.90	10.03	6.46	4.57	11.60	79.34
SR0.70	DB01118	0.93	0.87	13.24	- 2.80	6.38	15.74	137.28
SR0.80	DB01103	0.97	0.94	5.81	2.25	3.72	15.57	131.33
SR0.80	DB01115	0.95	0.91	9.05	5.87	20.85	49.25	264.64
SR0.80	DB01117	0.97	0.94	6.30	2.32	2.14	6.67	53.47
SR0.80	DB01118	0.94	0.89	10.70	- 1.57	6.15	17.09	124.54
SR0.90	DB01103	0.98	0.95	4.87	1.80	1.85	9.06	108.28
SR0.90	DB01115	0.95	0.91	9.49	5.31	20.50	50.08	267.52
SR0.90	DB01117	0.97	0.95	5.18	1.09	1.57	6.94	128.98
SR0.90	DB01118	0.95	0.90	9.55	- 1.33	4.59	13.75	101.73
SR1.00	DB01103	0.98	0.95	4.86	2.11	1.34	5.87	97.70
SR1.00	DB01115	0.94	0.90	10.49	5.17	20.08	49.22	251.78
SR1.00	DB01117	0.96	0.92	7.51	3.22	4.58	14.01	82.64
SR1.00	DB01118	0.95	0.90	9.58	- 2.48	3.51	10.39	101.20
SR1.20	DB01103	0.97	0.94	5.52	2.13	2.47	11.12	104.69
SR1.20	DB01115	0.94	0.89	11.30	4.86	19.20	46.39	242.61
SR1.20	DB01117	0.95	0.90	10.18	5.70	5.56	15.38	81.75
SR1.20	DB01118	0.94	0.88	11.72	- 2.75	4.45	11.75	78.51
SR0.75	DB01103	0.96	0.93	7.04	2.12	4.45	16.52	123.10
SR0.75	DB01115	0.95	0.91	8.69	6.03	20.19	47.80	300.85
SR0.75	DB01117	0.96	0.92	7.95	4.43	3.27	9.39	80.23
SR0.75	DB01118	0.94	0.89	11.32	- 2.01	6.57	17.45	137.32
SR0.85	DB01103	0.97	0.95	5.26	1.92	2.87	13.16	114.15
SR0.85	DB01115	0.95	0.90	9.54	6.21	22.39	53.17	262.85
SR0.85	DB01117	0.97	0.95	5.02	1.04	1.25	4.34	129.62
SR0.85	DB01118	0.95	0.91	9.40	- 1.23	4.87	14.71	103.33
SR1.10	DB01103	0.97	0.95	5.06	1.82	1.35	6.57	107.88
SR1.10	DB01115	0.94	0.88	11.62	5.87	20.94	49.59	249.58
SR1.10	DB01117	0.95	0.90	10.11	6.31	6.30	16.87	139.51
SR1.10	DB01118	0.94	0.88	11.56	- 2.30	4.84	13.16	79.03
SR1.15	DB01103	0.97	0.95	5.33	1.86	1.99	9.83	120.79
SR1.15	DB01115	0.94	0.88	11.81	5.92	21.37	50.01	248.54
SR1.15	DB01117	0.94	0.89	11.00	6.91	6.68	17.56	127.57
SR1.15	DB01118	0.94	0.88	12.13	- 1.89	5.12	13.36	78.81
SR1.25	DB01103	0.97	0.94	5.65	2.16	2.38	10.88	104.39
SR1.25	DB01115	0.94	0.89	10.87	3.29	15.72	40.04	236.11
SR1.25	DB01117	0.95	0.90	10.19	5.69	4.50	12.61	139.84
SR1.25	DB01118	0.94	0.88	11.88	- 3.33	4.14	11.08	90.09
SR1.30	DB01103	0.97	0.94	5.75	2.26	2.62	12.02	120.91
SR1.30	DB01115	0.94	0.89	10.72	3.01	12.77	34.33	215.84
SR1.30	DB01117	0.94	0.89	10.97	6.64	4.25	11.34	140.24
SR1.30	DB01118	0.94	0.88	11.99	- 3.34	4.35	12.22	91.76

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01102	0.97	0.93	6.77	- 0.54	1.47	4.27	132.46
SR0.00	DB01104	0.97	0.93	6.53	- 0.60	4.06	13.93	116.12
SR0.00	DB01105	0.74	0.59	40.65	- 8.88	18.47	36.29	229.28
SR0.00	DB01119	0.94	0.89	10.84	- 4.85	9.02	21.42	120.23
SR0.70	DB01102	0.97	0.94	6.29	- 1.22	1.22	3.11	48.60
SR0.70	DB01104	0.96	0.93	6.80	- 0.42	4.27	14.55	116.25
SR0.70	DB01105	0.74	0.58	41.77	- 12.71	15.21	30.53	166.07
SR0.70	DB01119	0.96	0.92	8.12	- 1.49	6.14	17.51	116.51
SR0.80	DB01102	0.97	0.94	6.23	- 1.99	1.13	2.68	27.55
SR0.80	DB01104	0.97	0.94	6.09	- 0.17	2.88	10.21	108.01
SR0.80	DB01105	0.74	0.59	41.26	- 18.28	15.29	30.40	154.25
SR0.80	DB01119	0.97	0.93	6.73	- 0.31	4.24	13.84	111.42
SR0.90	DB01102	0.97	0.94	6.41	- 2.86	1.13	2.50	25.85
SR0.90	DB01104	0.97	0.94	5.99	- 0.39	2.44	8.68	108.05
SR0.90	DB01105	0.73	0.57	42.74	- 21.23	15.86	30.97	154.23
SR0.90	DB01119	0.97	0.94	6.13	- 1.43	2.64	9.67	93.09
SR1.00	DB01102	0.97	0.94	5.99	- 3.06	1.02	2.16	25.20
SR1.00	DB01104	0.97	0.94	5.79	- 0.55	1.94	7.15	88.40
SR1.00	DB01105	0.74	0.58	41.77	- 23.46	15.17	29.61	153.67
SR1.00	DB01119	0.97	0.94	6.26	- 0.98	2.50	9.37	92.25
SR1.20	DB01102	0.97	0.94	6.25	- 3.69	1.04	2.10	20.26
SR1.20	DB01104	0.97	0.94	5.90	- 0.60	1.58	5.95	88.42
SR1.20	DB01105	0.73	0.57	42.90	- 21.14	14.31	27.34	154.08
SR1.20	DB01119	0.97	0.93	6.69	- 0.22	3.30	11.83	92.97
SR0.75	DB01102	0.97	0.94	6.34	- 1.75	1.18	2.86	38.54
SR0.75	DB01104	0.97	0.94	6.20	- 0.39	3.29	11.80	116.53
SR0.75	DB01105	0.74	0.59	41.26	- 15.36	14.96	29.90	159.81
SR0.75	DB01119	0.96	0.93	7.35	- 0.42	5.06	15.69	115.34
SR0.85	DB01102	0.97	0.94	6.29	- 2.47	1.12	2.53	26.69
SR0.85	DB01104	0.97	0.94	6.06	- 0.08	2.72	9.61	107.94
SR0.85	DB01105	0.73	0.58	42.19	- 19.05	15.28	29.91	154.37
SR0.85	DB01119	0.97	0.93	6.54	- 0.79	3.65	12.67	110.73
SR1.10	DB01102	0.97	0.94	6.02	- 3.40	0.99	1.99	22.03
SR1.10	DB01104	0.97	0.94	5.67	- 0.64	1.64	6.21	88.92
SR1.10	DB01105	0.73	0.58	42.37	- 22.20	14.51	27.99	153.97
SR1.10	DB01119	0.97	0.94	6.42	- 0.72	2.79	10.37	93.41
SR1.15	DB01102	0.97	0.94	6.12	- 3.71	1.00	1.99	19.79
SR1.15	DB01104	0.97	0.94	5.75	- 0.73	1.53	5.76	88.51
SR1.15	DB01105	0.72	0.56	43.57	- 20.17	14.53	27.74	153.90
SR1.15	DB01119	0.97	0.93	6.54	- 0.32	3.06	11.10	93.72
SR1.25	DB01102	0.97	0.94	6.44	- 4.05	1.07	2.19	20.08
SR1.25	DB01104	0.97	0.94	6.00	- 0.69	1.55	5.69	88.39
SR1.25	DB01105	0.73	0.57	42.67	- 21.39	14.08	26.76	152.61
SR1.25	DB01119	0.96	0.93	6.80	- 0.18	3.38	12.09	94.74
SR1.30	DB01102	0.97	0.93	6.65	- 3.72	1.13	2.33	20.51
SR1.30	DB01104	0.97	0.94	6.11	- 0.55	1.59	5.95	88.65
SR1.30	DB01105	0.73	0.58	42.37	- 21.34	13.69	26.01	151.88
SR1.30	DB01119	0.96	0.93	6.99	- 0.29	3.38	11.91	92.31

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01106	0.94	0.88	11.54	9.61	5.15	13.31	93.09
SR0.00	DB01107	0.94	0.89	10.89	- 2.41	8.65	22.97	115.09
SR0.00	DB01108	0.95	0.91	9.30	- 3.83	2.84	7.15	75.73
SR0.00	DB01113	0.90	0.82	18.42	13.94	9.33	19.49	168.53
SR0.70	DB01106	0.94	0.89	10.59	8.28	3.97	11.39	92.07
SR0.70	DB01107	0.92	0.85	14.66	- 0.25	12.22	27.94	185.60
SR0.70	DB01108	0.95	0.91	8.76	- 3.72	2.42	6.24	75.24
SR0.70	DB01113	0.90	0.82	18.50	13.99	9.17	19.32	167.73
SR0.80	DB01106	0.95	0.91	9.17	6.83	2.68	8.62	62.89
SR0.80	DB01107	0.94	0.89	11.41	- 2.32	9.15	23.82	119.23
SR0.80	DB01108	0.96	0.92	7.80	- 2.61	1.72	4.07	74.48
SR0.80	DB01113	0.92	0.85	14.61	9.22	6.16	13.21	102.01
SR0.90	DB01106	0.95	0.91	8.97	6.79	2.73	8.79	62.00
SR0.90	DB01107	0.94	0.90	10.49	- 2.65	7.52	20.93	117.88
SR0.90	DB01108	0.96	0.93	7.46	- 2.27	1.58	3.48	64.44
SR0.90	DB01113	0.93	0.87	13.35	8.09	5.40	11.83	65.21
SR1.00	DB01106	0.96	0.91	8.60	6.46	2.03	6.50	60.48
SR1.00	DB01107	0.95	0.90	10.43	- 2.92	6.49	18.29	117.09
SR1.00	DB01108	0.96	0.92	7.72	- 2.10	1.66	3.63	63.91
SR1.00	DB01113	0.93	0.87	12.86	7.42	4.86	11.00	82.73
SR1.20	DB01106	0.95	0.91	9.24	6.96	2.02	5.93	56.60
SR1.20	DB01107	0.95	0.90	10.14	- 3.55	4.59	13.53	98.52
SR1.20	DB01108	0.96	0.92	8.07	- 2.17	1.82	4.28	48.02
SR1.20	DB01113	0.94	0.88	12.13	6.09	4.01	9.43	55.06
SR0.75	DB01106	0.95	0.90	9.59	7.09	2.87	8.92	90.02
SR0.75	DB01107	0.94	0.88	12.01	- 1.70	10.02	25.14	130.98
SR0.75	DB01108	0.96	0.92	8.15	- 3.03	1.96	4.94	75.00
SR0.75	DB01113	0.91	0.83	16.52	11.63	7.87	16.87	103.86
SR0.85	DB01106	0.95	0.91	8.97	6.95	2.69	8.79	62.94
SR0.85	DB01107	0.94	0.89	10.65	- 2.58	8.12	22.23	117.13
SR0.85	DB01108	0.96	0.93	7.50	- 2.39	1.59	3.62	64.26
SR0.85	DB01113	0.93	0.86	13.95	8.45	5.67	12.33	86.80
SR1.10	DB01106	0.95	0.91	8.77	6.99	1.93	5.83	58.59
SR1.10	DB01107	0.95	0.90	10.32	- 3.59	5.29	15.51	103.45
SR1.10	DB01108	0.96	0.92	7.82	- 2.17	1.79	4.32	49.30
SR1.10	DB01113	0.93	0.87	13.20	7.54	4.84	10.98	90.20
SR1.15	DB01106	0.95	0.91	8.91	6.87	1.89	5.56	56.50
SR1.15	DB01107	0.95	0.90	10.09	- 3.45	5.13	15.01	102.38
SR1.15	DB01108	0.96	0.92	7.79	- 2.11	1.76	4.30	49.93
SR1.15	DB01113	0.93	0.87	13.08	7.39	4.70	10.74	85.29
SR1.25	DB01106	0.95	0.90	9.78	7.24	2.36	6.98	57.30
SR1.25	DB01107	0.95	0.90	10.05	- 3.91	4.17	12.42	98.88
SR1.25	DB01108	0.96	0.92	8.32	- 2.47	1.85	4.30	47.62
SR1.25	DB01113	0.94	0.88	11.83	6.15	3.81	9.14	55.35
SR1.30	DB01106	0.95	0.90	10.29	7.97	2.64	7.72	58.85
SR1.30	DB01107	0.95	0.90	9.92	- 4.24	3.82	11.68	86.26
SR1.30	DB01108	0.96	0.92	8.37	- 2.96	1.83	4.15	47.43
SR1.30	DB01113	0.94	0.88	11.64	5.96	3.75	9.11	55.15

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01101	0.94	0.89	11.14	2.95	6.20	17.32	151.71
SR0.00	DB01109	0.94	0.89	10.63	3.41	5.01	14.46	124.87
SR0.00	DB01110	0.95	0.90	10.12	- 1.16	2.44	5.79	174.77
SR0.00	DB01120	0.92	0.85	14.71	9.02	24.54	65.20	297.48
SR0.70	DB01101	0.93	0.87	13.15	4.50	9.02	22.66	187.44
SR0.70	DB01109	0.93	0.88	12.49	5.39	6.72	18.53	128.84
SR0.70	DB01110	0.95	0.90	9.66	- 1.28	2.03	4.54	41.00
SR0.70	DB01120	0.92	0.85	14.70	9.01	26.40	68.43	297.11
SR0.80	DB01101	0.95	0.90	10.20	2.18	5.48	15.67	128.55
SR0.80	DB01109	0.95	0.91	9.46	2.07	4.05	12.05	126.48
SR0.80	DB01110	0.95	0.90	9.65	- 1.64	1.97	4.56	45.23
SR0.80	DB01120	0.95	0.91	9.20	2.25	15.75	52.09	272.18
SR0.90	DB01101	0.95	0.91	9.31	0.80	3.85	12.28	105.87
SR0.90	DB01109	0.96	0.93	7.38	- 0.35	2.59	7.68	82.67
SR0.90	DB01110	0.95	0.90	9.76	- 2.23	1.84	4.23	41.37
SR0.90	DB01120	0.96	0.92	8.11	- 0.16	14.93	51.23	271.91
SR1.00	DB01101	0.95	0.91	8.87	0.67	3.26	10.84	110.68
SR1.00	DB01109	0.97	0.94	6.28	- 2.49	1.75	5.52	47.89
SR1.00	DB01110	0.95	0.90	9.73	- 2.42	1.79	4.03	68.80
SR1.00	DB01120	0.96	0.92	8.21	- 0.67	12.67	45.57	272.92
SR1.20	DB01101	0.95	0.91	9.34	0.59	2.77	9.06	108.31
SR1.20	DB01109	0.96	0.93	7.32	- 1.69	1.68	5.05	48.15
SR1.20	DB01110	0.95	0.90	10.12	- 2.55	1.73	3.92	67.26
SR1.20	DB01120	0.94	0.89	10.84	2.45	16.70	53.78	266.97
SR0.75	DB01101	0.94	0.89	11.08	2.76	6.35	17.43	132.36
SR0.75	DB01109	0.94	0.89	10.58	3.36	4.90	14.44	125.60
SR0.75	DB01110	0.95	0.90	9.78	- 1.30	1.99	4.52	86.13
SR0.75	DB01120	0.94	0.89	10.79	4.15	18.30	56.02	268.96
SR0.85	DB01101	0.95	0.90	9.52	1.11	4.24	13.28	124.78
SR0.85	DB01109	0.96	0.91	8.53	1.04	3.30	9.55	126.13
SR0.85	DB01110	0.95	0.90	9.82	- 1.91	1.93	4.48	41.85
SR0.85	DB01120	0.96	0.92	8.28	0.60	14.59	50.60	269.70
SR1.10	DB01101	0.95	0.91	8.98	0.53	2.62	8.60	110.14
SR1.10	DB01109	0.96	0.93	6.80	- 1.93	1.74	5.40	47.13
SR1.10	DB01110	0.95	0.90	10.16	- 2.02	1.81	4.13	48.12
SR1.10	DB01120	0.95	0.90	9.68	0.63	16.20	54.26	266.05
SR1.15	DB01101	0.95	0.91	9.07	0.62	2.62	8.77	112.71
SR1.15	DB01109	0.96	0.93	7.09	- 1.87	1.76	5.33	47.83
SR1.15	DB01110	0.95	0.90	10.20	- 2.29	1.81	4.16	69.71
SR1.15	DB01120	0.95	0.90	10.30	1.77	16.06	54.05	272.28
SR1.25	DB01101	0.95	0.90	9.67	0.72	3.05	9.94	110.81
SR1.25	DB01109	0.96	0.93	7.31	- 1.57	1.63	4.87	46.92
SR1.25	DB01110	0.95	0.90	9.92	- 2.55	1.72	4.06	67.93
SR1.25	DB01120	0.93	0.87	12.54	4.40	17.25	52.98	266.86
SR1.30	DB01101	0.95	0.90	9.64	0.72	2.85	9.07	110.46
SR1.30	DB01109	0.96	0.93	7.24	- 1.60	1.55	4.60	46.85
SR1.30	DB01110	0.95	0.90	9.97	- 2.45	1.79	4.36	48.54
SR1.30	DB01120	0.93	0.86	13.71	6.24	17.05	52.09	267.26

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF ชุดทดสอบที่ 4

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01111	0.90	0.81	18.59	15.32	34.74	69.11	285.84
SR0.00	DB01112	0.96	0.92	7.63	6.29	8.77	25.38	186.02
SR0.00	DB01114	0.87	0.77	22.84	19.42	39.34	80.89	298.26
SR0.00	DB01116	0.96	0.93	6.96	0.07	5.93	17.22	140.49
SR0.70	DB01111	0.92	0.85	15.36	10.70	22.72	52.34	254.29
SR0.70	DB01112	0.96	0.92	7.63	6.25	8.57	25.10	186.10
SR0.70	DB01114	0.87	0.77	22.66	18.47	38.12	76.09	292.70
SR0.70	DB01116	0.95	0.91	8.95	0.11	7.31	18.76	118.70
SR0.80	DB01111	0.92	0.85	14.67	10.83	20.81	49.58	208.11
SR0.80	DB01112	0.97	0.95	5.25	3.68	3.58	13.36	152.57
SR0.80	DB01114	0.89	0.79	20.57	15.05	30.02	66.37	285.31
SR0.80	DB01116	0.97	0.95	5.45	0.69	3.49	11.42	135.94
SR0.90	DB01111	0.92	0.85	14.89	11.55	20.22	48.13	202.84
SR0.90	DB01112	0.97	0.95	4.89	3.16	3.00	11.52	104.78
SR0.90	DB01114	0.89	0.80	20.50	12.96	26.21	59.66	280.29
SR0.90	DB01116	0.97	0.95	5.07	0.06	2.36	8.23	113.05
SR1.00	DB01111	0.92	0.85	15.50	12.24	20.68	48.42	203.80
SR1.00	DB01112	0.98	0.95	4.79	2.96	2.62	10.56	108.02
SR1.00	DB01114	0.88	0.78	21.74	13.03	26.91	59.82	277.46
SR1.00	DB01116	0.97	0.95	5.05	0.20	1.79	6.54	90.40
SR1.20	DB01111	0.91	0.83	16.82	12.59	20.94	48.43	202.04
SR1.20	DB01112	0.97	0.95	5.45	3.63	2.53	9.34	82.56
SR1.20	DB01114	0.87	0.77	22.96	12.82	26.64	58.95	240.62
SR1.20	DB01116	0.97	0.95	5.33	0.61	2.08	7.69	73.74
SR0.75	DB01111	0.92	0.85	15.05	10.91	22.06	51.67	224.73
SR0.75	DB01112	0.97	0.94	6.14	4.58	4.81	16.21	182.08
SR0.75	DB01114	0.88	0.78	21.62	16.98	35.62	74.84	296.19
SR0.75	DB01116	0.96	0.93	6.86	0.50	5.45	16.18	138.92
SR0.85	DB01111	0.92	0.85	14.76	11.34	19.92	48.12	202.74
SR0.85	DB01112	0.97	0.95	5.15	3.57	3.16	11.80	151.87
SR0.85	DB01114	0.89	0.80	20.50	13.97	27.35	61.29	278.62
SR0.85	DB01116	0.97	0.95	5.23	0.28	2.76	9.16	89.93
SR1.10	DB01111	0.91	0.84	15.81	12.46	20.47	48.40	201.73
SR1.10	DB01112	0.97	0.95	5.25	3.36	2.73	10.17	87.98
SR1.10	DB01114	0.87	0.77	22.71	12.86	26.71	58.55	241.18
SR1.10	DB01116	0.97	0.95	5.35	0.12	2.04	7.45	85.31
SR1.15	DB01111	0.91	0.84	16.16	12.11	20.21	47.59	201.64
SR1.15	DB01112	0.97	0.94	5.73	3.86	2.89	10.28	83.89
SR1.15	DB01114	0.87	0.77	22.93	13.16	27.67	59.92	241.43
SR1.15	DB01116	0.97	0.95	5.27	0.31	2.10	7.66	73.41
SR1.25	DB01111	0.91	0.83	16.60	12.44	20.66	48.24	207.72
SR1.25	DB01112	0.97	0.94	5.69	3.84	2.47	8.95	69.83
SR1.25	DB01114	0.87	0.77	22.89	12.10	25.34	56.51	241.08
SR1.25	DB01116	0.97	0.94	5.60	0.62	2.20	8.00	84.54
SR1.30	DB01111	0.91	0.83	16.57	12.03	19.88	46.96	207.02
SR1.30	DB01112	0.97	0.94	5.89	4.08	2.46	8.72	68.53
SR1.30	DB01114	0.87	0.77	22.98	12.15	25.24	56.17	240.12
SR1.30	DB01116	0.97	0.94	5.67	0.60	2.25	8.39	86.88

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF ชุดทดสอบที่ 5

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01103	0.97	0.95	5.00	1.49	2.15	9.61	93.20
SR0.00	DB01115	0.96	0.92	7.56	5.04	22.08	56.84	302.63
SR0.00	DB01117	0.97	0.94	6.03	2.80	1.92	6.22	104.82
SR0.00	DB01118	0.96	0.93	6.95	1.55	2.01	6.00	98.28
SR0.70	DB01103	0.97	0.95	5.14	1.13	2.88	11.74	104.12
SR0.70	DB01115	0.96	0.93	7.15	4.45	18.98	51.83	245.22
SR0.70	DB01117	0.97	0.94	5.93	2.82	1.77	5.49	104.08
SR0.70	DB01118	0.96	0.92	7.64	1.46	2.21	6.39	100.24
SR0.80	DB01103	0.98	0.95	4.71	0.80	2.17	9.62	91.23
SR0.80	DB01115	0.96	0.93	7.34	4.38	16.84	48.69	236.32
SR0.80	DB01117	0.97	0.95	5.33	1.90	1.33	4.06	45.49
SR0.80	DB01118	0.97	0.93	6.53	1.82	1.70	5.20	47.58
SR0.90	DB01103	0.98	0.95	4.53	0.73	1.65	7.60	84.23
SR0.90	DB01115	0.97	0.93	6.67	3.51	11.72	40.15	231.76
SR0.90	DB01117	0.97	0.95	5.04	1.58	1.12	3.33	45.73
SR0.90	DB01118	0.97	0.94	6.14	1.60	1.35	3.78	99.75
SR1.00	DB01103	0.98	0.96	4.15	0.48	1.19	5.90	83.72
SR1.00	DB01115	0.97	0.93	6.73	3.29	10.72	37.83	226.79
SR1.00	DB01117	0.97	0.95	4.99	1.53	1.01	2.85	46.97
SR1.00	DB01118	0.97	0.94	6.23	1.49	1.32	3.63	101.39
SR1.20	DB01103	0.98	0.96	4.37	0.11	0.96	4.64	91.01
SR1.20	DB01115	0.97	0.94	5.60	1.93	3.85	19.59	222.94
SR1.20	DB01117	0.97	0.94	5.73	1.94	1.10	2.98	44.64
SR1.20	DB01118	0.97	0.94	5.59	1.47	1.13	3.00	34.74
SR0.75	DB01103	0.97	0.95	4.98	1.39	2.52	10.45	103.81
SR0.75	DB01115	0.97	0.93	6.75	3.82	14.39	44.37	240.13
SR0.75	DB01117	0.97	0.94	5.71	2.42	1.59	4.81	45.48
SR0.75	DB01118	0.96	0.93	6.92	1.86	1.91	5.71	58.16
SR0.85	DB01103	0.98	0.96	4.44	0.65	1.74	7.98	84.05
SR0.85	DB01115	0.96	0.93	7.09	3.92	15.49	47.07	229.71
SR0.85	DB01117	0.97	0.95	5.25	1.74	1.24	3.75	46.88
SR0.85	DB01118	0.97	0.94	6.28	1.71	1.48	4.43	46.48
SR1.10	DB01103	0.98	0.96	4.35	0.42	1.03	5.12	84.22
SR1.10	DB01115	0.97	0.94	5.88	2.17	6.65	28.24	225.24
SR1.10	DB01117	0.97	0.95	5.38	1.70	1.06	2.89	34.73
SR1.10	DB01118	0.97	0.94	5.69	1.16	1.18	3.27	95.90
SR1.15	DB01103	0.98	0.96	4.36	0.37	0.98	4.88	90.88
SR1.15	DB01115	0.97	0.94	5.83	2.04	6.01	26.54	224.78
SR1.15	DB01117	0.97	0.94	5.64	1.75	1.08	2.84	33.86
SR1.15	DB01118	0.97	0.94	5.69	1.49	1.14	2.98	34.13
SR1.25	DB01103	0.98	0.96	4.36	0.06	0.94	4.38	84.54
SR1.25	DB01115	0.97	0.94	5.61	1.77	4.38	21.48	210.98
SR1.25	DB01117	0.97	0.94	5.79	1.79	1.14	3.09	43.82
SR1.25	DB01118	0.97	0.94	5.61	1.54	1.06	2.82	52.01
SR1.30	DB01103	0.98	0.95	4.51	0.11	0.95	4.25	83.45
SR1.30	DB01115	0.97	0.94	5.73	1.62	4.03	20.54	204.15
SR1.30	DB01117	0.97	0.94	5.75	1.79	1.15	3.24	44.68
SR1.30	DB01118	0.97	0.94	5.72	1.73	1.08	2.86	32.16

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01102	0.59	0.42	58.30	- 57.72	16.25	28.43	119.49
SR0.00	DB01104	0.96	0.93	7.03	- 4.63	1.60	3.59	33.36
SR0.00	DB01105	0.03	0.01	98.73	- 98.71	44.87	56.15	117.59
SR0.00	DB01119	0.82	0.70	30.30	- 25.62	8.60	13.16	60.75
SR0.70	DB01102	0.97	0.94	6.18	- 2.09	1.77	4.95	51.98
SR0.70	DB01104	0.96	0.93	7.39	- 5.01	1.70	3.80	31.16
SR0.70	DB01105	0.25	0.14	85.95	- 55.78	28.42	37.08	87.95
SR0.70	DB01119	0.96	0.93	7.38	- 2.20	2.09	6.03	73.38
SR0.80	DB01102	0.97	0.95	5.04	- 0.61	0.99	2.69	37.74
SR0.80	DB01104	0.97	0.95	5.24	- 2.66	1.03	2.80	39.09
SR0.80	DB01105	0.53	0.36	63.67	- 5.89	16.14	24.83	87.91
SR0.80	DB01119	0.96	0.93	7.41	- 0.48	2.39	7.11	71.13
SR0.90	DB01102	0.97	0.95	5.02	- 0.77	0.89	2.13	30.13
SR0.90	DB01104	0.97	0.95	5.23	- 2.47	0.99	2.65	38.53
SR0.90	DB01105	0.61	0.44	55.81	- 13.79	15.23	24.56	94.24
SR0.90	DB01119	0.96	0.93	6.96	- 0.42	1.72	4.74	41.30
SR1.00	DB01102	0.97	0.95	4.97	- 1.48	0.81	1.73	26.50
SR1.00	DB01104	0.97	0.94	5.61	- 2.34	1.13	3.03	33.97
SR1.00	DB01105	0.64	0.47	53.10	- 20.61	15.16	24.94	93.23
SR1.00	DB01119	0.96	0.93	7.02	- 0.27	1.73	4.65	37.70
SR1.20	DB01102	0.97	0.94	5.93	- 2.01	1.00	2.17	29.00
SR1.20	DB01104	0.97	0.94	6.36	- 3.09	1.10	2.62	28.12
SR1.20	DB01105	0.69	0.53	47.21	- 17.01	13.55	23.57	92.13
SR1.20	DB01119	0.96	0.93	7.41	- 0.60	1.75	4.69	37.68
SR0.75	DB01102	0.97	0.95	5.36	- 0.23	1.15	3.21	52.76
SR0.75	DB01104	0.97	0.94	5.80	- 3.05	1.17	3.01	35.66
SR0.75	DB01105	0.48	0.31	68.81	- 20.17	16.38	24.92	87.74
SR0.75	DB01119	0.96	0.93	7.18	- 1.04	2.33	6.87	74.65
SR0.85	DB01102	0.97	0.95	4.91	- 0.77	0.89	2.27	35.31
SR0.85	DB01104	0.97	0.95	5.12	- 2.58	0.95	2.63	39.14
SR0.85	DB01105	0.59	0.42	58.08	- 8.69	15.56	24.60	88.16
SR0.85	DB01119	0.96	0.93	6.97	- 0.67	1.88	5.39	52.09
SR1.10	DB01102	0.97	0.95	5.43	- 1.96	0.93	2.12	29.45
SR1.10	DB01104	0.97	0.94	5.98	- 2.89	1.07	2.62	26.17
SR1.10	DB01105	0.66	0.50	50.27	- 24.61	14.62	24.42	88.36
SR1.10	DB01119	0.96	0.93	7.08	- 0.62	1.78	4.95	42.29
SR1.15	DB01102	0.97	0.94	5.75	- 2.14	0.98	2.18	29.30
SR1.15	DB01104	0.97	0.94	6.02	- 2.71	1.07	2.61	28.29
SR1.15	DB01105	0.66	0.50	50.48	- 27.40	15.21	25.06	90.88
SR1.15	DB01119	0.96	0.93	7.21	- 0.48	1.78	4.84	40.45
SR1.25	DB01102	0.97	0.94	6.29	- 2.36	1.06	2.20	27.19
SR1.25	DB01104	0.97	0.94	6.49	- 3.25	1.11	2.63	27.53
SR1.25	DB01105	0.69	0.52	47.66	- 21.15	13.93	24.15	94.77
SR1.25	DB01119	0.96	0.92	7.58	- 0.84	1.82	4.84	39.43
SR1.30	DB01102	0.97	0.93	6.61	- 1.82	1.09	2.16	17.68
SR1.30	DB01104	0.97	0.93	6.68	- 3.58	1.14	2.62	26.96
SR1.30	DB01105	0.65	0.48	51.53	- 34.57	15.32	25.45	95.34
SR1.30	DB01119	0.96	0.92	7.95	- 0.23	1.94	5.03	42.60

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01106	0.96	0.92	8.37	2.73	1.96	5.41	45.06
SR0.00	DB01107	0.91	0.84	16.20	- 12.91	3.53	7.50	51.87
SR0.00	DB01108	0.91	0.84	15.82	- 11.67	4.64	8.18	99.21
SR0.00	DB01113	0.94	0.88	11.76	1.34	3.06	7.14	63.29
SR0.70	DB01106	0.96	0.92	7.92	1.67	1.49	4.13	42.52
SR0.70	DB01107	0.89	0.80	19.55	- 16.80	3.73	6.43	51.23
SR0.70	DB01108	0.94	0.88	11.74	- 6.54	3.77	7.56	101.68
SR0.70	DB01113	0.94	0.88	11.80	1.38	3.07	7.20	63.19
SR0.80	DB01106	0.96	0.91	8.59	2.79	1.89	5.21	47.71
SR0.80	DB01107	0.93	0.88	12.35	- 8.00	3.23	7.27	90.74
SR0.80	DB01108	0.96	0.92	8.14	- 2.72	2.04	4.43	97.48
SR0.80	DB01113	0.94	0.89	10.83	1.67	2.54	5.90	67.41
SR0.90	DB01106	0.96	0.92	7.83	2.73	1.68	4.62	56.76
SR0.90	DB01107	0.94	0.88	11.87	- 9.17	2.75	5.67	80.94
SR0.90	DB01108	0.96	0.92	7.80	- 2.59	1.61	3.10	51.24
SR0.90	DB01113	0.94	0.89	10.88	1.40	2.29	5.19	45.26
SR1.00	DB01106	0.96	0.92	8.37	3.23	1.87	5.41	76.24
SR1.00	DB01107	0.91	0.84	16.41	- 14.36	3.53	7.55	52.20
SR1.00	DB01108	0.96	0.92	8.28	- 3.06	1.63	3.01	67.81
SR1.00	DB01113	0.93	0.87	12.59	- 0.04	2.51	5.33	45.18
SR1.20	DB01106	0.94	0.88	12.02	5.66	3.29	8.35	49.26
SR1.20	DB01107	0.94	0.88	11.76	- 9.38	2.33	4.70	75.60
SR1.20	DB01108	0.95	0.91	8.83	- 3.77	1.72	3.16	25.43
SR1.20	DB01113	0.92	0.85	15.01	- 0.11	3.23	6.60	69.10
SR0.75	DB01106	0.96	0.92	7.81	2.27	1.50	4.19	56.81
SR0.75	DB01107	0.91	0.83	16.86	- 13.65	3.43	7.23	50.81
SR0.75	DB01108	0.95	0.91	9.37	- 3.99	2.79	6.00	97.91
SR0.75	DB01113	0.94	0.89	10.90	1.31	2.51	5.76	80.71
SR0.85	DB01106	0.95	0.91	8.81	3.01	1.98	5.20	51.35
SR0.85	DB01107	0.91	0.84	16.11	- 13.08	3.50	7.40	55.82
SR0.85	DB01108	0.96	0.92	7.79	- 2.61	1.71	3.49	98.64
SR0.85	DB01113	0.94	0.89	11.00	2.42	2.57	6.10	83.93
SR1.10	DB01106	0.95	0.90	10.08	3.57	2.60	6.90	54.35
SR1.10	DB01107	0.94	0.88	11.76	- 9.27	2.53	5.28	75.90
SR1.10	DB01108	0.95	0.91	8.68	- 3.73	1.67	3.01	25.94
SR1.10	DB01113	0.93	0.86	13.52	0.86	2.83	6.04	44.99
SR1.15	DB01106	0.95	0.90	10.37	4.53	2.67	7.04	48.75
SR1.15	DB01107	0.94	0.88	12.17	- 9.90	2.42	4.67	70.15
SR1.15	DB01108	0.95	0.91	8.75	- 3.72	1.70	3.10	25.56
SR1.15	DB01113	0.92	0.86	14.38	1.08	3.02	6.26	45.47
SR1.25	DB01106	0.93	0.87	12.83	6.95	3.47	8.58	48.32
SR1.25	DB01107	0.94	0.88	12.04	- 9.75	2.36	4.91	76.25
SR1.25	DB01108	0.95	0.91	8.91	- 3.89	1.71	3.13	25.50
SR1.25	DB01113	0.91	0.84	16.14	- 0.79	3.47	6.73	68.74
SR1.30	DB01106	0.92	0.86	14.46	9.25	4.32	10.14	57.61
SR1.30	DB01107	0.94	0.88	12.05	- 9.52	2.52	6.20	77.53
SR1.30	DB01108	0.95	0.91	9.02	- 3.99	1.75	3.21	25.41
SR1.30	DB01113	0.90	0.82	17.89	- 0.33	4.02	7.72	69.73

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01101	0.95	0.91	8.74	- 1.06	1.76	4.83	60.81
SR0.00	DB01109	0.96	0.93	7.48	- 4.20	1.50	3.50	42.90
SR0.00	DB01110	0.88	0.79	20.77	- 17.41	4.19	7.23	65.91
SR0.00	DB01120	0.97	0.94	6.14	- 1.39	1.69	5.54	75.62
SR0.70	DB01101	0.95	0.90	10.28	- 4.24	2.13	5.36	60.39
SR0.70	DB01109	0.95	0.90	9.96	- 3.62	2.38	5.62	45.20
SR0.70	DB01110	0.93	0.86	13.93	- 8.57	2.93	5.64	87.70
SR0.70	DB01120	0.97	0.94	6.16	- 1.51	1.63	4.93	53.64
SR0.80	DB01101	0.96	0.92	8.24	- 0.96	1.48	3.93	72.33
SR0.80	DB01109	0.96	0.93	6.88	- 3.92	1.38	3.58	45.46
SR0.80	DB01110	0.94	0.88	11.84	- 5.88	2.31	4.78	30.46
SR0.80	DB01120	0.98	0.95	4.63	- 2.40	0.78	1.97	54.53
SR0.90	DB01101	0.96	0.92	7.84	- 0.78	1.20	2.36	39.91
SR0.90	DB01109	0.97	0.93	6.62	- 3.79	1.26	3.20	43.97
SR0.90	DB01110	0.94	0.89	11.49	- 4.46	2.16	4.52	30.31
SR0.90	DB01120	0.98	0.95	4.89	- 2.15	0.81	2.05	54.87
SR1.00	DB01101	0.96	0.92	7.76	- 0.39	1.23	2.42	37.16
SR1.00	DB01109	0.96	0.93	6.93	- 4.02	1.29	3.07	33.50
SR1.00	DB01110	0.94	0.89	11.18	- 4.31	1.93	4.07	29.68
SR1.00	DB01120	0.97	0.95	5.36	- 2.19	0.85	1.66	18.71
SR1.20	DB01101	0.96	0.92	7.97	- 0.20	1.30	2.47	24.06
SR1.20	DB01109	0.96	0.92	7.84	- 3.40	1.49	3.62	39.93
SR1.20	DB01110	0.94	0.89	11.03	- 3.86	1.85	3.96	30.07
SR1.20	DB01120	0.97	0.93	6.67	- 1.19	1.15	2.31	20.19
SR0.75	DB01101	0.95	0.91	8.70	- 1.10	1.72	4.71	59.81
SR0.75	DB01109	0.96	0.93	7.27	- 4.49	1.28	2.81	43.17
SR0.75	DB01110	0.93	0.87	12.64	- 7.06	2.54	5.11	32.26
SR0.75	DB01120	0.97	0.95	5.12	- 2.20	0.99	2.69	32.25
SR0.85	DB01101	0.96	0.92	8.07	- 0.94	1.25	2.59	47.98
SR0.85	DB01109	0.96	0.93	6.78	- 3.85	1.30	3.31	42.91
SR0.85	DB01110	0.94	0.88	11.62	- 4.84	2.24	4.67	31.36
SR0.85	DB01120	0.98	0.95	4.61	- 2.38	0.79	2.43	55.32
SR1.10	DB01101	0.96	0.92	7.78	- 0.31	1.27	2.44	25.42
SR1.10	DB01109	0.96	0.93	7.30	- 4.18	1.32	3.03	32.65
SR1.10	DB01110	0.94	0.89	10.75	- 3.45	1.84	3.97	52.10
SR1.10	DB01120	0.97	0.94	6.10	- 2.01	1.01	1.99	17.67
SR1.15	DB01101	0.96	0.92	7.92	- 0.10	1.29	2.47	22.80
SR1.15	DB01109	0.96	0.93	7.36	- 3.76	1.36	3.26	40.76
SR1.15	DB01110	0.94	0.89	10.82	- 3.37	1.88	4.05	29.92
SR1.15	DB01120	0.97	0.94	6.43	- 1.27	1.11	2.26	21.85
SR1.25	DB01101	0.96	0.92	8.09	- 0.06	1.33	2.57	26.25
SR1.25	DB01109	0.96	0.92	8.45	- 3.39	1.65	4.02	41.85
SR1.25	DB01110	0.94	0.89	11.14	- 3.87	1.85	3.98	33.21
SR1.25	DB01120	0.97	0.93	6.75	- 0.59	1.18	2.44	23.59
SR1.30	DB01101	0.96	0.92	8.33	- 0.30	1.38	2.60	26.80
SR1.30	DB01109	0.96	0.91	8.55	- 2.96	1.62	3.97	41.64
SR1.30	DB01110	0.94	0.88	11.76	- 5.04	1.92	4.03	38.10
SR1.30	DB01120	0.96	0.93	6.82	- 0.39	1.17	2.40	34.59

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 4

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01111	0.92	0.86	14.21	- 3.73	5.20	9.95	62.53
SR0.00	DB01112	0.94	0.89	11.22	9.99	5.13	12.33	98.93
SR0.00	DB01114	0.93	0.88	12.42	- 2.29	2.86	6.05	45.79
SR0.00	DB01116	0.90	0.83	17.47	- 5.14	8.63	16.28	114.00
SR0.70	DB01111	0.95	0.91	9.21	- 1.12	3.12	7.60	60.46
SR0.70	DB01112	0.94	0.89	11.07	9.80	4.99	12.12	98.93
SR0.70	DB01114	0.92	0.86	14.49	- 4.74	3.33	6.53	45.82
SR0.70	DB01116	0.82	0.70	29.96	- 20.61	9.94	16.08	92.19
SR0.80	DB01111	0.96	0.91	8.54	- 1.69	2.84	6.91	56.38
SR0.80	DB01112	0.97	0.95	5.25	3.52	1.33	4.50	100.69
SR0.80	DB01114	0.95	0.90	10.14	- 0.73	2.56	5.96	49.50
SR0.80	DB01116	0.95	0.91	8.89	2.33	5.75	14.58	107.77
SR0.90	DB01111	0.96	0.92	8.13	- 0.50	2.48	5.92	44.65
SR0.90	DB01112	0.98	0.96	4.28	1.85	0.84	2.78	47.27
SR0.90	DB01114	0.95	0.90	9.94	- 0.17	2.63	6.75	73.23
SR0.90	DB01116	0.98	0.95	4.81	1.20	1.50	4.58	69.80
SR1.00	DB01111	0.95	0.91	8.73	- 1.57	2.54	6.16	69.23
SR1.00	DB01112	0.98	0.96	4.34	1.68	0.72	1.85	41.26
SR1.00	DB01114	0.94	0.89	10.77	- 0.26	2.51	6.16	73.93
SR1.00	DB01116	0.98	0.95	4.60	0.61	1.24	3.85	57.44
SR1.20	DB01111	0.95	0.91	8.85	- 3.26	2.12	5.14	41.45
SR1.20	DB01112	0.97	0.95	4.99	1.55	0.88	2.42	36.02
SR1.20	DB01114	0.93	0.87	13.29	- 0.31	3.51	8.59	73.79
SR1.20	DB01116	0.98	0.95	4.86	1.13	1.35	4.01	62.43
SR0.75	DB01111	0.95	0.91	8.96	- 2.03	3.14	7.50	58.43
SR0.75	DB01112	0.97	0.94	6.18	4.52	1.65	4.96	99.53
SR0.75	DB01114	0.94	0.89	10.59	- 0.73	2.80	6.56	53.03
SR0.75	DB01116	0.91	0.84	15.91	- 3.48	8.44	16.45	113.65
SR0.85	DB01111	0.96	0.92	8.38	- 0.79	2.61	6.21	51.70
SR0.85	DB01112	0.98	0.95	4.56	2.31	0.93	3.21	85.53
SR0.85	DB01114	0.95	0.90	9.83	- 0.80	2.60	6.43	73.26
SR0.85	DB01116	0.97	0.94	5.62	1.03	2.07	6.40	81.50
SR1.10	DB01111	0.95	0.91	8.92	- 2.07	2.55	6.51	46.11
SR1.10	DB01112	0.98	0.95	4.68	1.43	0.83	2.19	33.71
SR1.10	DB01114	0.93	0.88	12.32	- 0.27	3.41	8.66	76.83
SR1.10	DB01116	0.98	0.95	4.78	0.98	1.37	4.19	48.07
SR1.15	DB01111	0.95	0.91	8.97	- 2.45	2.38	5.99	45.14
SR1.15	DB01112	0.97	0.95	5.04	1.13	0.86	2.20	35.71
SR1.15	DB01114	0.94	0.88	12.03	- 0.77	2.82	6.67	64.79
SR1.15	DB01116	0.98	0.95	4.78	1.17	1.48	4.84	83.89
SR1.25	DB01111	0.95	0.91	9.34	- 4.32	2.22	5.29	39.01
SR1.25	DB01112	0.97	0.94	5.76	1.60	1.04	2.74	67.19
SR1.25	DB01114	0.93	0.87	12.79	- 1.02	2.64	5.52	56.36
SR1.25	DB01116	0.97	0.95	4.90	1.52	1.37	4.09	87.28
SR1.30	DB01111	0.95	0.90	10.35	- 5.69	2.49	5.78	45.07
SR1.30	DB01112	0.97	0.94	5.95	2.11	1.11	2.99	66.10
SR1.30	DB01114	0.93	0.87	12.87	- 1.09	2.57	5.35	54.38
SR1.30	DB01116	0.97	0.95	5.04	1.41	1.31	3.68	85.71

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NbSD+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 5

ค่าความละเอียด	รหัสภาพซีที	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01103	0.97	0.95	5.12	0.89	1.10	4.29	73.42
SR0.00	DB01115	0.97	0.94	5.71	- 2.14	1.24	3.13	61.04
SR0.00	DB01117	0.95	0.90	10.36	- 6.17	3.96	10.19	70.29
SR0.00	DB01118	0.95	0.90	9.92	- 3.58	3.24	8.04	61.03
SR0.70	DB01103	0.94	0.88	11.82	- 6.43	3.36	7.86	51.49
SR0.70	DB01115	0.98	0.96	4.30	- 1.26	0.82	2.69	47.61
SR0.70	DB01117	0.96	0.93	7.11	- 2.29	1.84	4.98	43.46
SR0.70	DB01118	0.94	0.88	11.93	- 4.39	3.98	9.29	60.50
SR0.80	DB01103	0.97	0.95	5.08	- 1.13	0.98	2.56	73.26
SR0.80	DB01115	0.98	0.96	4.18	- 0.39	0.75	2.61	73.08
SR0.80	DB01117	0.97	0.95	5.38	- 0.40	0.95	2.40	42.71
SR0.80	DB01118	0.95	0.91	9.28	- 3.24	2.64	6.85	60.43
SR0.90	DB01103	0.98	0.95	4.79	- 1.26	0.85	2.03	34.65
SR0.90	DB01115	0.97	0.95	4.91	- 0.12	0.71	1.48	71.47
SR0.90	DB01117	0.97	0.95	5.08	- 0.44	0.83	1.94	20.30
SR0.90	DB01118	0.96	0.92	8.41	- 2.63	1.96	5.15	47.83
SR1.00	DB01103	0.97	0.95	4.89	- 1.60	0.86	2.12	25.88
SR1.00	DB01115	0.97	0.95	5.33	- 0.74	0.78	1.51	14.04
SR1.00	DB01117	0.97	0.94	5.56	- 1.00	1.27	4.42	51.30
SR1.00	DB01118	0.95	0.91	8.81	- 3.37	1.94	5.02	48.06
SR1.20	DB01103	0.97	0.95	5.06	- 1.35	0.88	2.21	55.37
SR1.20	DB01115	0.97	0.94	6.07	- 1.19	0.93	1.86	31.48
SR1.20	DB01117	0.96	0.93	7.03	- 2.02	1.88	6.22	65.91
SR1.20	DB01118	0.94	0.89	10.55	- 4.15	2.59	6.85	59.08
SR0.75	DB01103	0.97	0.94	5.85	- 0.34	1.33	3.71	44.83
SR0.75	DB01115	0.98	0.96	4.06	- 0.73	0.75	2.64	47.08
SR0.75	DB01117	0.97	0.94	6.06	- 1.27	1.21	3.27	43.28
SR0.75	DB01118	0.95	0.90	9.85	- 3.73	3.01	7.64	63.22
SR0.85	DB01103	0.97	0.95	4.95	- 0.95	0.88	2.17	72.55
SR0.85	DB01115	0.98	0.96	4.47	- 0.41	0.64	1.45	72.36
SR0.85	DB01117	0.97	0.95	5.02	- 0.32	0.84	2.06	41.99
SR0.85	DB01118	0.96	0.92	8.30	- 2.52	2.12	5.74	60.95
SR1.10	DB01103	0.97	0.95	5.13	- 1.44	0.88	2.11	24.25
SR1.10	DB01115	0.97	0.94	5.73	- 0.96	0.86	1.65	22.27
SR1.10	DB01117	0.97	0.94	6.40	- 1.90	1.66	5.83	59.14
SR1.10	DB01118	0.95	0.90	10.15	- 3.95	2.32	6.02	56.87
SR1.15	DB01103	0.97	0.95	5.30	- 1.14	0.91	2.15	24.48
SR1.15	DB01115	0.97	0.94	5.81	- 1.05	0.88	1.72	23.82
SR1.15	DB01117	0.97	0.93	6.51	- 1.53	1.65	5.57	63.29
SR1.15	DB01118	0.95	0.90	10.32	- 4.03	2.57	6.81	56.22
SR1.25	DB01103	0.97	0.95	5.18	- 1.56	0.91	2.51	56.10
SR1.25	DB01115	0.97	0.94	6.41	- 1.84	0.97	1.89	23.12
SR1.25	DB01117	0.96	0.93	7.42	- 2.42	1.78	5.44	56.19
SR1.25	DB01118	0.94	0.89	10.83	- 4.62	2.53	6.53	53.05
SR1.30	DB01103	0.97	0.95	5.40	- 1.22	0.92	2.21	26.03
SR1.30	DB01115	0.97	0.93	6.65	- 1.67	1.02	2.03	24.15
SR1.30	DB01117	0.96	0.92	8.38	- 3.49	2.35	7.30	66.25
SR1.30	DB01118	0.94	0.89	11.00	- 4.58	2.52	6.50	57.58

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01102	0.97	0.93	6.77	- 0.54	1.45	4.04	58.05
SR0.00	DB01104	0.97	0.95	5.22	- 2.04	1.24	4.03	52.79
SR0.00	DB01105	0.76	0.61	39.28	5.92	12.08	23.27	88.45
SR0.00	DB01119	0.96	0.92	7.85	0.69	2.77	7.57	72.09
SR0.70	DB01102	0.97	0.94	5.99	- 1.61	1.15	2.92	48.60
SR0.70	DB01104	0.97	0.95	5.40	- 2.23	1.15	3.48	44.19
SR0.70	DB01105	0.75	0.59	40.63	10.12	11.26	22.31	88.55
SR0.70	DB01119	0.97	0.93	6.53	- 0.37	1.98	5.97	71.84
SR0.80	DB01102	0.97	0.94	5.89	- 2.37	1.05	2.45	27.55
SR0.80	DB01104	0.97	0.95	4.96	- 1.50	1.25	4.18	49.54
SR0.80	DB01105	0.75	0.60	39.89	14.56	11.33	22.29	88.52
SR0.80	DB01119	0.97	0.94	6.17	- 1.64	1.73	5.36	54.19
SR0.90	DB01102	0.97	0.94	6.26	- 3.10	1.08	2.33	25.85
SR0.90	DB01104	0.97	0.95	4.89	- 1.97	1.01	3.23	44.80
SR0.90	DB01105	0.74	0.59	40.92	16.63	11.31	22.30	87.80
SR0.90	DB01119	0.97	0.94	5.93	- 2.69	1.31	3.99	40.13
SR1.00	DB01102	0.97	0.94	5.77	- 3.35	0.96	2.00	25.20
SR1.00	DB01104	0.97	0.95	4.92	- 1.49	1.07	3.42	45.62
SR1.00	DB01105	0.74	0.59	40.92	21.44	11.98	22.96	88.30
SR1.00	DB01119	0.97	0.94	6.01	- 2.50	1.23	3.62	33.75
SR1.20	DB01102	0.97	0.94	6.24	- 3.89	1.04	2.09	20.26
SR1.20	DB01104	0.97	0.95	4.99	- 1.58	0.85	2.26	26.75
SR1.20	DB01105	0.74	0.59	41.16	16.09	11.28	22.08	86.50
SR1.20	DB01119	0.97	0.94	5.90	- 2.18	1.19	3.46	32.42
SR0.75	DB01102	0.97	0.94	6.00	- 2.13	1.10	2.64	38.54
SR0.75	DB01104	0.97	0.95	5.14	- 1.55	1.32	4.34	58.85
SR0.75	DB01105	0.75	0.60	40.12	12.30	11.33	22.31	88.51
SR0.75	DB01119	0.97	0.94	6.25	- 0.97	1.72	5.26	49.94
SR0.85	DB01102	0.97	0.94	5.99	- 2.80	1.04	2.32	26.69
SR0.85	DB01104	0.98	0.95	4.78	- 1.49	1.12	3.81	51.02
SR0.85	DB01105	0.74	0.59	40.66	15.16	11.33	22.23	88.11
SR0.85	DB01119	0.97	0.94	5.99	- 2.22	1.39	4.06	43.06
SR1.10	DB01102	0.97	0.94	5.99	- 3.90	0.98	1.95	22.03
SR1.10	DB01104	0.98	0.95	4.82	- 1.56	0.90	2.55	31.31
SR1.10	DB01105	0.74	0.59	40.75	17.77	11.36	22.43	88.16
SR1.10	DB01119	0.97	0.94	5.62	- 1.85	0.99	2.53	29.86
SR1.15	DB01102	0.97	0.94	6.13	- 3.93	1.00	1.96	19.79
SR1.15	DB01104	0.97	0.95	4.92	- 1.66	0.86	2.29	27.36
SR1.15	DB01105	0.74	0.58	41.82	15.12	11.34	22.11	85.49
SR1.15	DB01119	0.97	0.94	6.03	- 2.33	1.26	3.76	34.82
SR1.25	DB01102	0.97	0.93	6.68	- 4.47	1.13	2.28	20.08
SR1.25	DB01104	0.97	0.95	5.18	- 1.58	0.88	2.29	26.58
SR1.25	DB01105	0.74	0.59	41.02	16.50	11.43	22.33	87.40
SR1.25	DB01119	0.97	0.94	6.10	- 2.28	1.24	3.68	35.22
SR1.30	DB01102	0.97	0.93	6.73	- 3.89	1.14	2.34	20.51
SR1.30	DB01104	0.97	0.95	5.18	- 1.57	0.88	2.29	26.10
SR1.30	DB01105	0.74	0.59	40.68	16.56	11.31	22.11	86.91
SR1.30	DB01119	0.97	0.94	6.11	- 1.99	1.24	3.64	39.37

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01106	0.94	0.90	10.44	8.19	3.00	7.69	47.43
SR0.00	DB01107	0.96	0.92	8.45	5.31	2.17	5.88	83.22
SR0.00	DB01108	0.95	0.91	9.00	4.31	2.39	5.52	74.51
SR0.00	DB01113	0.94	0.89	11.21	4.35	3.20	7.45	45.75
SR0.70	DB01106	0.95	0.90	9.56	6.86	2.19	6.00	42.99
SR0.70	DB01107	0.94	0.89	11.04	4.65	5.63	16.72	104.51
SR0.70	DB01108	0.96	0.92	8.44	4.14	2.05	4.87	72.51
SR0.70	DB01113	0.94	0.89	11.24	4.34	3.16	7.41	45.48
SR0.80	DB01106	0.95	0.91	9.10	4.18	1.79	4.92	40.23
SR0.80	DB01107	0.95	0.91	8.68	5.55	2.17	5.85	83.63
SR0.80	DB01108	0.96	0.92	7.54	2.92	1.47	2.91	54.78
SR0.80	DB01113	0.95	0.90	10.04	3.47	2.61	6.61	45.46
SR0.90	DB01106	0.95	0.91	9.20	4.01	1.77	4.78	42.30
SR0.90	DB01107	0.96	0.92	8.32	5.14	2.14	6.00	84.82
SR0.90	DB01108	0.96	0.93	7.22	2.55	1.36	2.54	22.87
SR0.90	DB01113	0.95	0.91	9.48	3.31	2.35	6.10	45.21
SR1.00	DB01106	0.95	0.91	9.12	4.54	1.67	4.49	42.00
SR1.00	DB01107	0.95	0.91	8.65	5.06	2.31	6.43	78.00
SR1.00	DB01108	0.96	0.93	7.43	2.42	1.43	2.68	26.48
SR1.00	DB01113	0.95	0.91	8.98	2.55	1.92	4.83	44.56
SR1.20	DB01106	0.95	0.91	8.99	6.42	1.47	3.43	37.55
SR1.20	DB01107	0.95	0.91	8.85	5.10	2.09	5.46	74.40
SR1.20	DB01108	0.96	0.92	7.70	2.66	1.43	2.68	25.09
SR1.20	DB01113	0.95	0.91	9.31	2.69	1.84	4.54	44.74
SR0.75	DB01106	0.95	0.91	9.46	4.52	1.95	5.27	40.71
SR0.75	DB01107	0.95	0.91	8.89	5.40	2.36	6.65	83.56
SR0.75	DB01108	0.96	0.92	7.90	3.43	1.65	3.54	58.47
SR0.75	DB01113	0.95	0.90	10.39	3.47	2.66	6.53	45.31
SR0.85	DB01106	0.95	0.91	8.95	4.39	1.60	4.10	37.15
SR0.85	DB01107	0.96	0.92	8.32	5.31	2.08	5.82	73.97
SR0.85	DB01108	0.96	0.93	7.30	2.71	1.37	2.58	23.26
SR0.85	DB01113	0.95	0.90	9.67	3.05	2.32	6.04	45.38
SR1.10	DB01106	0.95	0.91	9.38	4.80	1.76	4.59	41.80
SR1.10	DB01107	0.95	0.91	8.84	5.38	2.16	5.71	72.97
SR1.10	DB01108	0.96	0.93	7.42	2.62	1.38	2.52	22.11
SR1.10	DB01113	0.95	0.91	9.02	2.42	1.79	4.43	44.18
SR1.15	DB01106	0.95	0.91	8.66	6.54	1.46	3.62	39.77
SR1.15	DB01107	0.95	0.91	8.68	5.06	2.17	5.69	81.65
SR1.15	DB01108	0.96	0.93	7.41	2.57	1.37	2.54	22.62
SR1.15	DB01113	0.95	0.90	9.52	2.96	1.85	4.55	45.20
SR1.25	DB01106	0.95	0.91	9.41	6.80	1.69	4.40	46.87
SR1.25	DB01107	0.95	0.91	8.93	5.18	2.07	5.39	74.04
SR1.25	DB01108	0.96	0.92	7.97	2.86	1.53	2.99	29.61
SR1.25	DB01113	0.95	0.91	9.16	2.92	1.82	4.51	44.60
SR1.30	DB01106	0.94	0.89	10.53	4.24	2.13	5.89	52.00
SR1.30	DB01107	0.95	0.91	8.92	5.39	1.88	4.66	73.78
SR1.30	DB01108	0.96	0.92	8.05	3.32	1.54	2.98	28.18
SR1.30	DB01113	0.95	0.91	8.99	2.77	1.73	4.34	44.31

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความละเอียด	รณสภาพพื้นที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01101	0.96	0.92	8.09	- 0.61	1.45	3.45	58.03
SR0.00	DB01109	0.95	0.90	9.81	- 2.43	3.42	9.21	83.06
SR0.00	DB01110	0.95	0.90	9.86	- 1.54	2.24	4.97	84.10
SR0.00	DB01120	0.94	0.89	10.58	- 3.81	4.18	10.98	61.83
SR0.70	DB01101	0.95	0.91	8.80	- 1.25	1.67	4.02	58.44
SR0.70	DB01109	0.94	0.89	11.11	- 3.65	3.72	9.36	83.41
SR0.70	DB01110	0.95	0.90	9.65	- 1.28	2.02	4.49	36.10
SR0.70	DB01120	0.94	0.89	10.77	- 3.89	3.68	10.03	62.89
SR0.80	DB01101	0.96	0.92	8.33	- 0.75	1.56	3.72	46.69
SR0.80	DB01109	0.97	0.94	6.10	- 1.93	2.04	7.05	83.37
SR0.80	DB01110	0.95	0.90	9.64	- 1.65	1.95	4.48	40.86
SR0.80	DB01120	0.96	0.93	7.15	- 0.17	2.61	7.64	53.19
SR0.90	DB01101	0.96	0.92	7.94	- 0.78	1.36	3.25	53.50
SR0.90	DB01109	0.97	0.94	5.78	- 2.41	1.55	5.30	82.67
SR0.90	DB01110	0.95	0.90	9.76	- 2.23	1.83	4.19	41.37
SR0.90	DB01120	0.97	0.94	6.27	- 2.48	1.64	5.12	51.93
SR1.00	DB01101	0.96	0.92	7.67	- 0.69	1.23	2.54	50.83
SR1.00	DB01109	0.97	0.94	6.00	- 2.80	1.34	4.11	42.21
SR1.00	DB01110	0.95	0.90	9.55	- 2.62	1.73	3.94	41.61
SR1.00	DB01120	0.97	0.93	6.62	- 2.68	1.63	4.56	48.68
SR1.20	DB01101	0.96	0.92	8.39	- 0.50	1.39	2.79	33.19
SR1.20	DB01109	0.96	0.93	6.89	- 2.20	1.25	3.45	36.08
SR1.20	DB01110	0.95	0.90	9.95	- 2.75	1.68	3.83	45.06
SR1.20	DB01120	0.95	0.91	8.63	- 0.43	2.35	6.27	49.67
SR0.75	DB01101	0.96	0.92	8.20	- 0.60	1.49	3.70	58.02
SR0.75	DB01109	0.95	0.90	9.98	- 2.31	3.44	9.41	83.33
SR0.75	DB01110	0.95	0.90	9.78	- 1.31	1.98	4.49	40.48
SR0.75	DB01120	0.96	0.92	8.43	- 1.16	3.22	9.18	61.45
SR0.85	DB01101	0.96	0.92	8.22	- 0.97	1.41	3.32	53.90
SR0.85	DB01109	0.97	0.94	5.97	- 1.86	1.86	6.30	82.93
SR0.85	DB01110	0.95	0.90	9.82	- 1.92	1.92	4.42	41.85
SR0.85	DB01120	0.97	0.93	6.61	- 1.69	2.03	6.32	52.25
SR1.10	DB01101	0.96	0.92	8.07	- 0.50	1.33	2.73	40.22
SR1.10	DB01109	0.97	0.94	6.48	- 2.28	1.36	4.07	36.08
SR1.10	DB01110	0.95	0.90	9.90	- 2.31	1.74	4.01	48.12
SR1.10	DB01120	0.96	0.92	7.51	- 2.16	1.94	5.36	44.40
SR1.15	DB01101	0.96	0.92	8.14	- 0.44	1.31	2.58	28.03
SR1.15	DB01109	0.97	0.93	6.75	- 2.25	1.36	3.89	35.43
SR1.15	DB01110	0.95	0.90	10.03	- 2.62	1.75	4.04	48.38
SR1.15	DB01120	0.96	0.92	8.08	- 0.79	2.12	5.88	47.67
SR1.25	DB01101	0.95	0.91	8.62	- 0.48	1.47	2.99	33.05
SR1.25	DB01109	0.96	0.93	6.84	- 2.14	1.15	3.01	35.38
SR1.25	DB01110	0.95	0.90	9.77	- 2.73	1.66	3.91	48.10
SR1.25	DB01120	0.95	0.91	9.32	- 0.42	2.55	6.65	44.18
SR1.30	DB01101	0.95	0.91	8.67	- 0.41	1.47	2.97	32.50
SR1.30	DB01109	0.96	0.93	6.98	- 1.90	1.22	3.13	31.55
SR1.30	DB01110	0.95	0.90	9.97	- 2.46	1.77	4.30	48.54
SR1.30	DB01120	0.95	0.90	10.08	- 1.78	2.90	7.35	48.75

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 4

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01111	0.94	0.89	11.14	3.36	5.85	12.54	76.56
SR0.00	DB01112	0.97	0.94	5.87	4.25	3.40	11.49	115.74
SR0.00	DB01114	0.91	0.84	16.32	9.69	11.18	24.50	114.20
SR0.00	DB01116	0.97	0.94	6.26	1.35	3.60	10.09	92.26
SR0.70	DB01111	0.95	0.91	8.80	1.96	3.19	8.19	60.88
SR0.70	DB01112	0.97	0.94	5.94	4.29	3.40	11.42	115.77
SR0.70	DB01114	0.91	0.84	15.72	8.24	10.21	22.10	112.00
SR0.70	DB01116	0.96	0.93	7.48	3.02	4.47	11.28	80.63
SR0.80	DB01111	0.96	0.92	7.84	2.07	2.45	6.47	60.48
SR0.80	DB01112	0.98	0.96	3.86	2.02	0.78	2.95	78.60
SR0.80	DB01114	0.91	0.84	16.19	8.67	10.50	23.01	106.41
SR0.80	DB01116	0.97	0.95	5.33	1.14	2.73	8.39	80.10
SR0.90	DB01111	0.95	0.90	10.08	5.44	4.38	11.24	67.37
SR0.90	DB01112	0.98	0.96	3.61	1.58	0.54	1.37	47.92
SR0.90	DB01114	0.91	0.83	16.89	7.67	10.96	24.07	108.11
SR0.90	DB01116	0.97	0.95	5.05	0.29	2.15	7.29	72.54
SR1.00	DB01111	0.95	0.90	10.41	5.68	4.79	12.07	66.67
SR1.00	DB01112	0.98	0.96	3.87	1.90	0.67	2.38	53.72
SR1.00	DB01114	0.90	0.82	18.38	7.82	11.98	25.60	106.16
SR1.00	DB01116	0.97	0.95	5.05	0.09	1.62	5.63	65.91
SR1.20	DB01111	0.94	0.88	11.53	5.65	5.21	12.87	65.22
SR1.20	DB01112	0.98	0.96	4.32	2.17	0.67	1.65	20.15
SR1.20	DB01114	0.89	0.80	20.22	8.69	13.66	29.14	134.51
SR1.20	DB01116	0.97	0.95	5.26	0.50	1.94	7.05	71.90
SR0.75	DB01111	0.96	0.92	8.19	1.94	2.78	7.36	59.66
SR0.75	DB01112	0.98	0.96	4.49	2.31	1.13	5.00	89.50
SR0.75	DB01114	0.91	0.84	16.20	9.01	10.69	23.19	113.32
SR0.75	DB01116	0.97	0.94	6.20	1.73	3.35	9.54	66.21
SR0.85	DB01111	0.95	0.90	10.10	5.42	4.69	11.93	77.22
SR0.85	DB01112	0.98	0.96	3.84	1.85	0.60	1.56	35.05
SR0.85	DB01114	0.91	0.84	16.44	8.05	10.40	22.90	103.36
SR0.85	DB01116	0.97	0.95	5.23	0.67	2.47	7.91	66.41
SR1.10	DB01111	0.94	0.89	10.71	5.86	4.95	12.56	76.12
SR1.10	DB01112	0.98	0.96	4.08	1.99	0.67	2.09	51.89
SR1.10	DB01114	0.89	0.80	19.97	8.75	13.67	28.83	133.61
SR1.10	DB01116	0.97	0.95	5.33	0.05	1.79	6.24	66.08
SR1.15	DB01111	0.94	0.89	11.10	5.53	5.02	12.55	65.10
SR1.15	DB01112	0.98	0.95	4.58	1.93	0.73	1.96	48.70
SR1.15	DB01114	0.89	0.79	20.55	9.56	14.98	31.03	137.82
SR1.15	DB01116	0.97	0.95	5.24	0.11	1.83	6.38	66.24
SR1.25	DB01111	0.94	0.89	11.36	5.60	5.21	12.97	65.35
SR1.25	DB01112	0.98	0.95	4.82	1.91	0.74	1.73	21.25
SR1.25	DB01114	0.94	0.89	10.54	4.52	2.46	6.56	77.78
SR1.25	DB01116	0.97	0.95	5.50	0.47	1.99	7.04	84.54
SR1.30	DB01111	0.94	0.89	11.44	5.34	5.33	13.23	76.89
SR1.30	DB01112	0.98	0.95	4.51	2.41	0.71	1.80	38.10
SR1.30	DB01114	0.94	0.89	10.73	4.31	2.62	7.26	71.90
SR1.30	DB01116	0.97	0.94	5.52	0.39	1.93	6.94	84.28

ตารางผลลัพธ์ค่าความแม่นยำการประมวลผลข้อมูลจากฟังก์ชัน NCDF+Mean-Shift ชุดทดสอบที่ 5

ค่าความละเอียด	รหัสภาพชี้ที่	Dice	Jaccard	VOE	RVD	ASSD	RMSD	MSD
SR0.00	DB01103	0.98	0.96	4.42	0.87	1.23	6.07	93.20
SR0.00	DB01115	0.98	0.96	4.35	1.46	1.23	5.73	73.80
SR0.00	DB01117	0.97	0.95	5.22	1.91	1.18	3.79	93.78
SR0.00	DB01118	0.96	0.93	6.86	- 1.66	1.90	5.78	59.09
SR0.70	DB01103	0.98	0.96	4.31	- 0.13	0.86	3.42	91.87
SR0.70	DB01115	0.98	0.96	4.30	1.29	1.06	5.15	74.55
SR0.70	DB01117	0.97	0.94	5.54	1.29	1.12	2.93	45.39
SR0.70	DB01118	0.96	0.92	7.56	- 1.56	2.11	6.24	58.08
SR0.80	DB01103	0.98	0.96	4.22	- 0.06	0.77	3.11	91.23
SR0.80	DB01115	0.98	0.96	4.32	1.01	0.80	3.05	71.04
SR0.80	DB01117	0.97	0.95	5.39	1.05	1.02	2.59	45.49
SR0.80	DB01118	0.97	0.94	6.45	- 1.91	1.62	5.07	47.58
SR0.90	DB01103	0.98	0.96	4.28	0.02	0.69	1.57	19.41
SR0.90	DB01115	0.98	0.96	4.47	1.06	0.72	2.01	49.01
SR0.90	DB01117	0.97	0.95	5.09	1.10	0.96	2.51	45.73
SR0.90	DB01118	0.97	0.94	6.05	- 1.70	1.27	3.57	45.94
SR1.00	DB01103	0.98	0.96	4.15	- 0.03	0.66	1.47	15.94
SR1.00	DB01115	0.98	0.96	4.46	0.79	0.70	1.56	18.57
SR1.00	DB01117	0.97	0.95	4.89	1.42	0.89	2.27	18.33
SR1.00	DB01118	0.97	0.94	6.13	- 1.60	1.21	2.99	41.41
SR1.20	DB01103	0.98	0.96	4.36	- 0.09	0.69	1.52	16.50
SR1.20	DB01115	0.98	0.95	4.73	0.97	0.70	1.53	18.20
SR1.20	DB01117	0.97	0.94	5.69	1.89	1.05	2.69	22.19
SR1.20	DB01118	0.97	0.95	5.39	- 1.71	0.95	2.37	28.47
SR0.75	DB01103	0.98	0.96	4.46	0.38	0.95	3.97	92.67
SR0.75	DB01115	0.98	0.96	4.37	1.20	0.92	4.16	74.85
SR0.75	DB01117	0.97	0.95	5.49	1.17	1.06	2.75	27.68
SR0.75	DB01118	0.96	0.93	6.82	- 1.98	1.79	5.48	58.16
SR0.85	DB01103	0.98	0.96	4.25	- 0.18	0.70	1.71	42.89
SR0.85	DB01115	0.98	0.96	4.35	0.89	0.70	1.97	48.75
SR0.85	DB01117	0.97	0.95	5.33	1.11	1.03	2.73	46.88
SR0.85	DB01118	0.97	0.94	6.20	- 1.79	1.41	4.26	46.48
SR1.10	DB01103	0.98	0.96	4.39	0.13	0.70	1.54	17.32
SR1.10	DB01115	0.98	0.95	4.61	0.78	0.73	1.64	18.04
SR1.10	DB01117	0.97	0.95	5.32	1.60	0.98	2.53	20.31
SR1.10	DB01118	0.97	0.94	5.53	- 1.33	1.03	2.53	37.09
SR1.15	DB01103	0.98	0.95	4.53	- 0.00	0.73	1.66	17.25
SR1.15	DB01115	0.98	0.95	4.60	0.70	0.70	1.58	18.18
SR1.15	DB01117	0.97	0.94	5.58	1.69	1.02	2.61	20.60
SR1.15	DB01118	0.97	0.94	5.52	- 1.68	0.99	2.41	29.27
SR1.25	DB01103	0.98	0.96	4.28	- 0.06	0.67	1.47	16.68
SR1.25	DB01115	0.98	0.95	4.69	0.77	0.70	1.50	17.54
SR1.25	DB01117	0.97	0.94	5.75	1.74	1.08	2.76	20.00
SR1.25	DB01118	0.97	0.95	5.40	- 1.81	0.87	2.01	52.01
SR1.30	DB01103	0.98	0.95	4.69	- 0.50	0.74	1.67	16.90
SR1.30	DB01115	0.98	0.95	4.79	0.59	0.68	1.41	14.77
SR1.30	DB01117	0.97	0.94	5.71	1.74	1.08	2.80	21.12
SR1.30	DB01118	0.97	0.94	5.52	- 2.02	0.88	1.98	23.44

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายบุญนที สักดีบุญญารัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	6 เมษายน 2522
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลนครปฐม จ.นครปฐม
วุฒิการศึกษา	ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	129/5 หมู่ 1 ต.นครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
ผลงานตีพิมพ์	B. Sakboonyara and P. Taeprasartsit, "U-Net and Mean-Shift Histogram for Efficient Liver Segmentation from CT Images," 2019 11th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), Phuket, Thailand, 2019, pp. 51-56.

