

การตรวจจับและการจำแนกกระดูกสันหลังด้วยการประมวลภาพ

นายธีรพงศ์ ปานบุญยืน

นายชัยดิษฐ์ แซ่มคำ

นายเฉลิมศักดิ์ กวางแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2557

Detection and Classification of Spine using Image Processing

Mr. Teerapong Panboonyuen

Mr. Chaiyadij Chamkum

Mr. Chalernsak Kwangkaew

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF COMPUTER ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK
ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญานิพนธ์เรื่อง : การตรวจจับและการจำแนกกระดูกสันหลังด้วยการประมวลภาพ
ชื่อ : นายธีรพงศ์ ปานบุญยืน
นายชัยดิษฐ์ แซ่มคำ
นายเฉลิมศักดิ์ กวางแก้ว
สาขาวิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู วงษ์เสรี
ปีการศึกษา : 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุมัติให้
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

..... หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภดล วิวัชรโกเศศ) และคอมพิวเตอร์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู วงษ์เสรี)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณชล ไชยรัตน์)


ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ


Project Report Title : Detection and Classification of Spine using Image Processing
Name : Mr. Teerapong Panboonyuen
Mr. Chaiyadij Chamkum
Mr. Chalernsak Kwangkaew
Major Field : Computer Engineering
Department : Electrical and Computer Engineering
Faculty : Engineering
Project Advisor(s) : Asst. Prof. Dr. Waranyu Wongseree
Academic Year : 2014

Accepted by Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North
Bangkok in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Computer
Engineering


..... Chairperson of Department of Electrical
(Asst. Prof. Noppadol Wiwatcharagoses) and Computer Engineering


..... Chairperson
(Asst. Prof. Dr. Waranyu Wongseree)


..... Member
(Assoc. Prof. Dr. Vara Varavithya)


..... Member
(Assoc. Prof. Dr. Nachol Chaiyaratana)

Copyright of the Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมตรวจจับขอบกระดูกโดยค้นหาส่วนที่เป็นขอบกระดูกสันหลังและทำการสร้างเส้นล้อมรอบขอบกระดูก โดยเลือกใช้โมเดลที่ปรับปรุงจาก Geometric Active Contour ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการหาขอบเขตของภาพให้มีความเร็วและความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยการประยุกต์วิธีการหาทิศทางการไหลของเกรเดียนต์ เวกเตอร์ และใช้ Spline แบบ Catmull-Rom ในการสร้างเส้นโค้ง ทำให้เกาะขอบของกระดูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถจำแนกประเภทกระดูกสันหลังด้วยวิธี k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Dynamic Time Warping กับ Euclidean ได้อย่างถูกต้อง

Abstract

Rarely in literature a method of segmentation cares for the edit after the algorithm delivers. We provide no solution when segmentation goes wrong. We propose to formulate point distribution model in terms of centripetal-parameterized Catmull-Rom Spline. Such fusion brings interactivity to model-based segmentation, so that edit is better handled. When the delivered segment is unsatisfactory, user simply shifts points to vary the curve.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะ คำแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู วงษ์เสรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของปริญญานิพนธ์นี้ จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู วงษ์เสรี เป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติพี่น้องที่เข้าใจ ให้คำปรึกษา ให้การอบรมสั่งสอนตักเตือน และการสนับสนุนอย่างดีเสมอมา ทั้งด้านทุนทรัพย์และด้านกำลังใจ

ธีรพงศ์ ปานบุญยืน

ชัยดิษฐ์ แซ่มคำ

เฉลิมศักดิ์ กวางแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 วิธีการวิจัย	4
1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	4
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กายวิภาคศาสตร์ของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ (Cervical Vertebrae)	5
2.2 โรคและความผิดปกติของกระดูกสันหลัง	8
2.3 การสร้าง Spline ล้อมรอบขอบกระดูกสันหลัง	10
2.4 แอคทีฟคอนทัวร์ (Active Contour)	13
2.5 ไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping : DTW)	15
บทที่ 3. ขั้นตอนการทดลอง	17
3.1 รูปแบบการทดลอง	17
บทที่ 4. ผลการทดลอง	27
4.1 ผลการเปรียบเทียบการลากเส้นเชื่อมแบบ Cubic Spline กับ Catmull-Rom Spline	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์	29
4.3 ผลการเปรียบเทียบการวัดมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ	31
4.4 ผลการเปรียบเทียบการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังระหว่างตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance และ Dynamic Time Warping Distance	33
บทที่ 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุปผล	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ประวัติผู้แต่ง	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 การเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์	30
4-2 การเปรียบเทียบค่าระยะแบบ Dynamic Time Warping	33
4-3 การเปรียบเทียบค่าระยะแบบ Euclidean	33
4-4 ผลการจำแนกประเภทกระดูกสันหลัง	34

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 ลักษณะทางกายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอด้านข้าง	2
1-2 ภาพรวมทั้งหมดของ The spinal column	2
1-3 ระบบการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังโดยกระบวนการ Statistical of Appearance	3
2-1 กายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ (Cervical Vertebrae)	7
2-2 ตำแหน่งที่อยู่ของกระดูกสันหลังส่วนคอ	7
2-3 โรคสไปนา ไบฟิดา (Spina bifida)	8
2-4 ภาวะกระดูกสันหลังคด (Scoliosis)	9
2-5 ภาวะหลังค่อม (Kyphosis)	10
2-6 กราฟของ Linear Spline	11
2-7 กราฟของ Quadratic Spline	12
2-8 กราฟของ Cubic Spline	13
2-9 หาทิศทางการไหลของแรงแเค้นที่เวกเตอร์	14
2-10 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ Dynamic Time Warping ที่มี ความยืดหยุ่นมากกว่า Euclidean Distance	16
3-1 ภาพฟิล์มเอกซเรย์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองจำนวน 10 ภาพ	17
3-2 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่ใช้สำหรับทดลองการสร้าง Spline	18
3-3 การสร้างเส้นโดยใช้ Catmull-Rom Spline	19
3-4 การสร้างเส้นโดยใช้ Cubic Spline	19
3-5 การสร้างเส้นแบบ Catmull-Rom Spline และแบบ Cubic Spline	20
3-6 การกำหนดจุด 10 จุดต่อ 1 ปล้อง โดยทำทั้งหมด 7 ปล้อง	22
3-7 การทำเทรนนิ่งให้กับภาพกระดูกแต่ละครั้ง	23

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-8	แผ่นแบบสุดท้ายของกระดูกส่วนคอเพื่อนำไปเข้าโปรแกรมสำหรับการตรวจจับขอบกระดูก	24
3-9	การหามุม Cobb โดยเทียบระหว่างปล้อง	25
3-10	การหามุม Cobb โดยใช้การวัดมุมจากไม้ครึ่งวงกลม	25
4-1	ผลการทดลองจากการสร้างเส้น 2 แบบ	28
4-2	ผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์	29
4-3	กราฟเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์	30
4-4	มุม Cobb ที่ได้จากโปรแกรมหลังจากทำการตรวจจับขอบกระดูกเสร็จสิ้น	31
4-5	มุมที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือแต่ละปล้องเทียบกัน	32
4-6	ผลจากการเปลี่ยนจุดเป็นกราฟเอกลักษณ์	34
4-7	เปรียบเทียบกับภาพแผ่นแบบทุกรูปจนครบเพื่อจำแนกภาพกระดูก	35

บทที่ 1

บทนำ

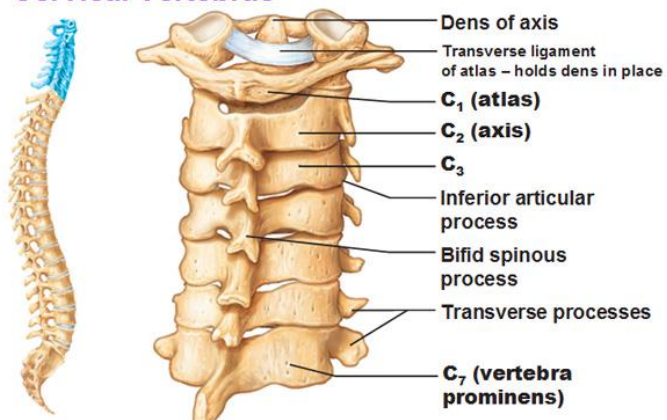
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีของ การประมวลผลภาพได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะทาง การแพทย์ได้มีการนำการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังโดยลักษณะทาง กายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอที่โครงการนี้เลือกนำมาใช้จะแสดงอยู่ในภาพที่ 1-1 และ แสดงภาพรวมทั้งหมดของกระดูกสันหลังแสดงในภาพที่ 1-2 โดยจะนำภาพเอกซเรย์ของกระดูกสัน หลังเฉพาะส่วนคอมาใช้ในการประมวลผลภาพ ในปัจจุบันขั้นตอนวิธีสำหรับตรวจจับรูปร่างของวัตถุ โดยอัตโนมัติ เช่น Active Shape Model (ASM) และ Active Appearance Model (AAM) เป็นวิธี มาตรฐานที่นิยมใช้ใน Computer Vision แต่วิธีการเหล่านี้ไม่สามารถตรวจจับรูปร่างจากภาพทาง การแพทย์ (Medicine Image) เนื่องจากสัณฐานรบกวนและความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล วิธี Statistical of Appearance เป็นวิธีตรวจจับรูปร่างของวัตถุโดยการสร้างขอบเขตของวัตถุจากการ ฝึกสอนโดยชุดข้อมูลเรียนรู้ และมีความคงทนต่อสัณฐานรบกวนในภาพ จึงเป็นวิธีที่น่าเสนอเพื่อ แก้ปัญหานี้

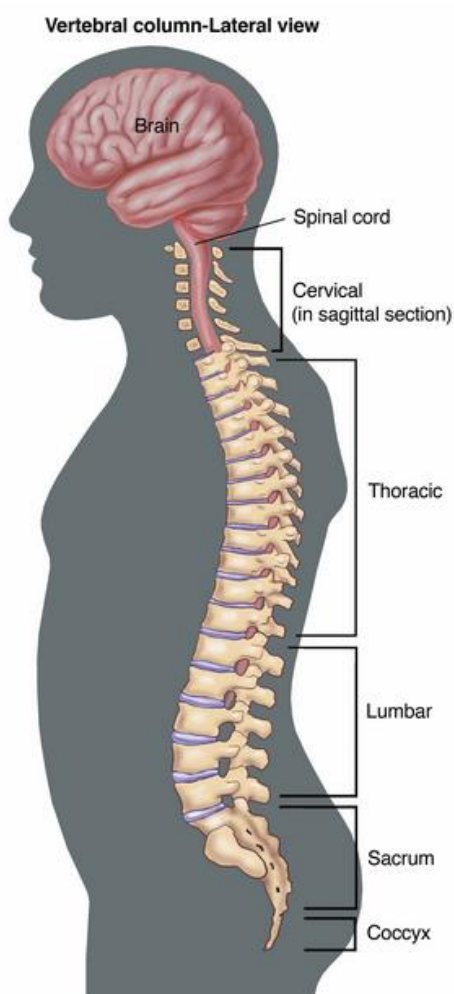
ระบบ Statistical of Appearance จะแสดงในภาพที่ 1-3 ซึ่งประกอบด้วยส่วนอินพุตโดยการนำ ภาพเอกซเรย์ของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอมาประมวลผลผ่านกระบวนการ Statistical of Appearance โดยเรียกการประมวลผลนี้ว่า Active Spline Model เมื่อกระบวนการ Statistical of Appearance สิ้นสุดลงจะได้เอาต์พุตที่มีจุดและเส้นจับที่ขอบของกระดูกสันหลัง

โครงการนี้ใช้กระบวนการของ Active Spline Model ซึ่งถูกพัฒนามาจาก Active Shape Model เพราะว่าการประมวลผลภาพที่เร็ว และการจับขอบของภาพเอกซเรย์ค่อนข้างแม่นยำกว่าวิธีการ ของ Active Shape Model (ASM), Active Appearance Model (AAM) หรือ Active Contour Models (snakes) เราจึงใช้กระบวนการนี้เพื่อลดเวลาในการรอการประมวลผลในการตรวจจับ และสามารถ นำไปจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

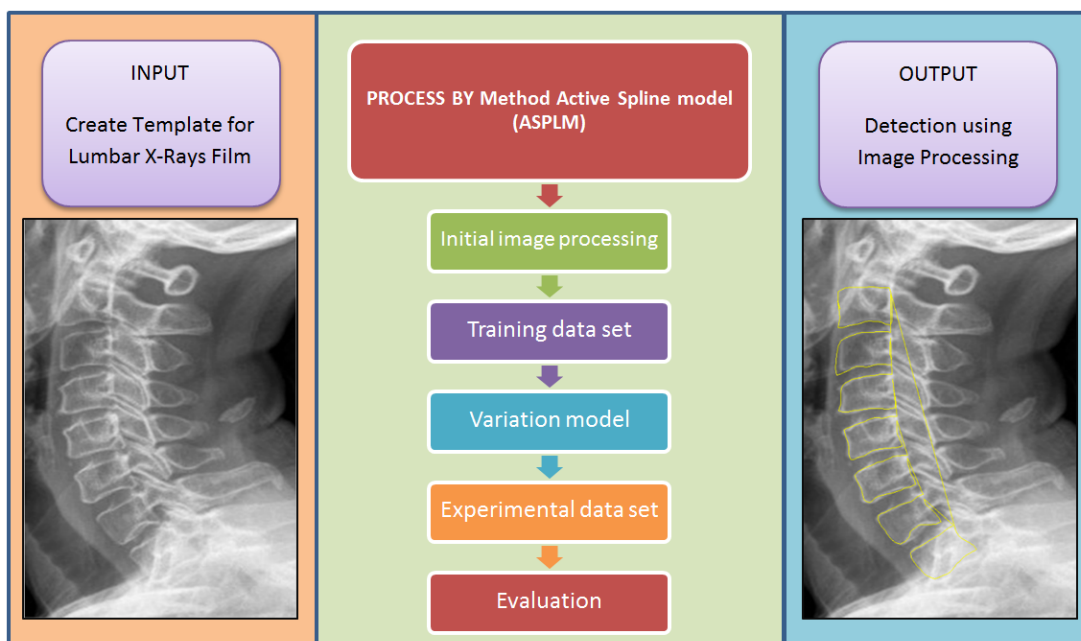
Cervical Vertebrae



ภาพที่ 1-1 ลักษณะทางกายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอด้านข้าง



ภาพที่ 1-2 แสดงภาพรวมทั้งหมดของ The spinal column



ภาพที่ 1-3 ระบบการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังโดยกระบวนการ Statistical of Appearance

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 พัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจจับกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอจากภาพเอกซเรย์ด้วยเทคนิค Statistical Models of Appearance
- 1.2.2 พัฒนาโปรแกรมสำหรับจำแนกประเภทของการเสื่อมของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของวิธี Statistical of Appearance สำหรับการตรวจจับรูปร่างของวัตถุ โดยการสร้างขอบเขตของวัตถุจากการฝึกสอนโดยชุดข้อมูลเรียนรู้
- 1.3.2 ออกแบบ GUI (Graphic User Interface) สำหรับประยุกต์ใช้วิธี Active Contour Model เพื่อการตรวจจับรูปร่างของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ
- 1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอจากภาพเอกซเรย์
- 1.3.4 ทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของการเสื่อมกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ

1.4 วิธีการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาการทำงานของวิธี Active Contour Model
- 1.4.2 พัฒนาโปรแกรมตรวจจับขอบของกระดูกสันหลังด้วยวิธี Active Contour Model
- 1.4.3 ทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอจากภาพเอกซเรย์ด้วยการประยุกต์ใช้วิธี Active Contour Model
- 1.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของการเชื่อมกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอด้วยการประยุกต์ใช้วิธี Dynamic Time Warping

1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- 1.5.1 คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา
- 1.5.2 โปรแกรม MATLAB SIMULINK (version R2012b)
- 1.5.3 โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science)

1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 โปรแกรมสำหรับตรวจจับกระดูกสันหลังและจำแนกประเภทของการเชื่อมของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอจากภาพเอกซเรย์โดยอัตโนมัติ
- 1.6.2 ลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มเอกซเรย์กระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์และประเมินประเภทของกระดูกสันหลังในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อาการปวดหลังเป็นอาการที่พบบ่อยมาก โดยปัจจุบันพบผู้ป่วยเป็นโรคเกี่ยวกับกระดูกสันหลัง เช่น โรคกระดูกสันหลังคด (Scoliosis) เป็นจำนวนมาก เพื่อที่จะได้เข้าใจหลักการทางกายวิภาคศาสตร์ว่าด้วยปัญหาอาการปวดหลัง และความผิดปกติของกระดูกสันหลังต้องอาศัยความเข้าใจลักษณะโครงสร้างซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.1 นำไปสู่การเกิดโรคที่เกี่ยวกับกระดูกสันหลังในแต่ละโรคซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2 เมื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ของกระดูกสันหลังแล้วจึงเข้าสู่ทฤษฎีการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังโดยโครงงานนี้ศึกษาการตรวจจับกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ โดยเริ่มจากทฤษฎีการสร้างเส้นเพื่อล้อมรอบขอบกระดูกสันหลังโดยอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3 เมื่อเข้าใจหลักการสร้างเส้นเพื่อล้อมรอบขอบกระดูกสันหลังแล้ว ต่อไปจะอธิบายถึงหลักการสร้างจุดเพื่อเข้าไปตรวจจับขอบของกระดูกสันหลัง ซึ่งใช้ทฤษฎีของแอคทีฟคอนทัวร์ โดยเลือกปรับปรุงจากทฤษฎีดังกล่าว เรียกใหม่ว่า Active Spline Model โดยอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 โดยสองหัวข้อท้ายสุดที่กล่าวมา คือ หัวข้อที่ 2.3 และ 2.4 จะเป็นขั้นตอนวิธีของการตรวจจับขอบของกระดูกสันหลัง เมื่อทำการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังได้แล้ว จะนำไปสู่กระบวนการจำแนกกระดูกสันหลังโดยวิธีที่เรียกว่า Dynamic Time Warping โดยอธิบายหลักการทำงานไว้ในหัวข้อสุดท้าย

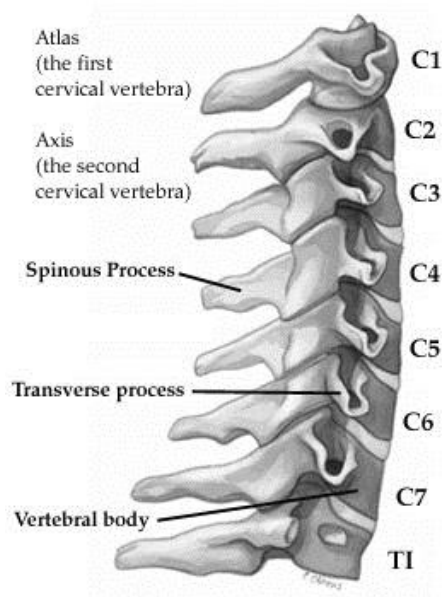
2.1 กายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ (Cervical Vertebrae)

ลักษณะทั่วไปของกระดูกสันหลังส่วนคอก็คือ จะค่อนข้างเล็กและเตี้ย รูปร่างของขนาดเมื่อมองจากด้านบนจะออกเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งจะเว้าทางด้านบน แต่มนออกทางด้านล่าง vertebral foramen จะเป็นรูปสามเหลี่ยม มี spinous process ที่สั้นและแยกเป็นสองแฉก (bifid) ที่สำคัญคือมีช่องที่ transverse process ที่เรียกว่า ฟอราเมน ทรานส์เวอร์สซารีอัม (foramen transversarium) ซึ่งภายในเป็นที่อยู่ของหลอดเลือดแดงเวอร์ทีบรัล (vertebral artery) ซึ่งนำเลือดขึ้นไปเลี้ยงบริเวณก้านสมองและไขสันหลัง กระดูกสันหลังส่วนคอที่มีลักษณะเฉพาะคือชิ้นแรกและชิ้นที่สอง ซึ่งเรียกว่า แอตลาส (atlas) และแอคซิส (axis) ตามลำดับ

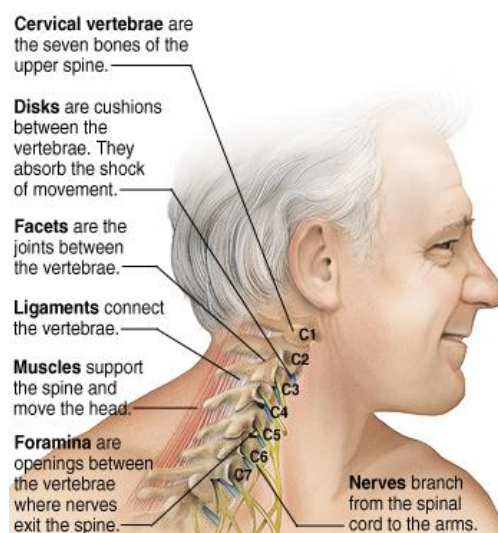
กระดูกสันหลังส่วนคอชิ้นแรก (First cervical vertebra) หรือแอตลาส (Atlas) เป็นกระดูกสันหลังที่ต่อกับกะโหลกศีรษะโดยตรง ลักษณะที่สำคัญคือจะไม่มีส่วนของ body แต่ตรงกลางจะเป็นช่องเปิดใหญ่ที่ล้อมรอบด้วยแนวกระดูกโค้งทั้งทางด้านข้าง ด้านหน้าและด้านหลังที่บริเวณ

ผิวด้านข้างของช่องนี้ทางด้านบนจะเป็นจุดต่อกับปุ่มท้ายทอย (occipital condyle) ของกะโหลกศีรษะ โดยข้อต่อท้ายทอย (atlanto-occipital joint) ขณะที่ส่วนด้านล่างจะต่อกับ superior articular process ของกระดูกสันหลังส่วนคอชั้นที่สอง ที่แนวกระดูกโค้งทางด้านหน้าจะเป็นพื้นผิวข้อต่อสำหรับเดือยที่เรียกว่า เดนส์ (dens) ซึ่งยื่นขึ้นมาจาก body ของกระดูกสันหลังส่วนคอชั้นที่สอง และจะถูกตรึงไว้กับที่ด้วยเอ็นแนวนาวาง (transverse ligaments of atlas) ซึ่งอยู่ทางด้านหลัง โครงสร้างนี้ทำหน้าที่คล้ายเดือยที่ทำให้แอตลาสสามารถหมุนได้ในระดับหนึ่ง ส่วน transverse processes ของกระดูกสันหลังส่วนคอชั้นแรกนี้จะยื่นออกไปทางด้านข้างมากเป็นพิเศษ ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดเกาะของกล้ามเนื้อต่าง ๆ ที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของข้อต่อระหว่างกระดูกแอตลาสกับแอกซิส (Atlanto-axial joint)

กระดูกสันหลังส่วนคอชั้นที่สอง (Second cervical vertebra) หรือแอกซิส (Axis) จะมีลักษณะที่สำคัญคือ dens ที่ยื่นขึ้นไปด้านบน นอกจากนี้ที่บริเวณด้านข้างเชิงไปทางด้านบนเล็กน้อยของ dens จะมีรอยเล็ก ๆ ทั้งสองด้าน ซึ่งเป็นจุดเกาะของเอ็น alar ligaments ซึ่งเชื่อมระหว่าง dens กับ occipital condyle และป้องกันการหมุนที่มากเกินไประหว่างศีรษะและกระดูกสันหลังส่วนคอ



ภาพที่ 2-1 กายวิภาคของกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ (Cervical Vertebrae)

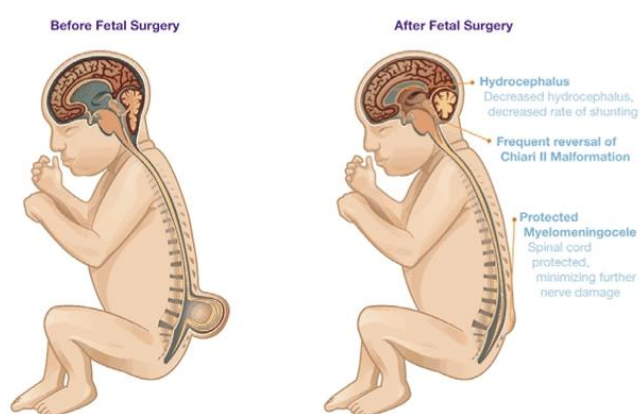


ภาพที่ 2-2 ตำแหน่งที่อยู่ของกระดูกสันหลังส่วนคอ

2.2 โรคและความผิดปกติของกระดูกสันหลัง

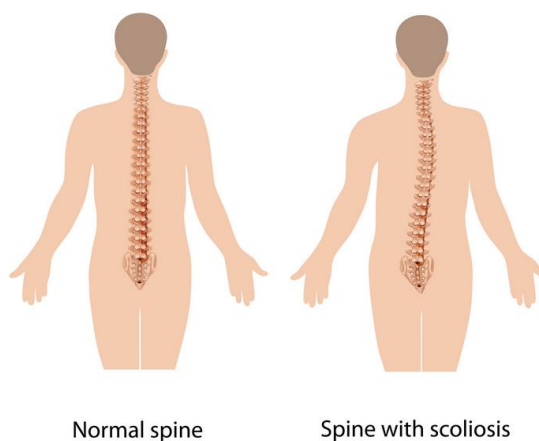
เนื่องจากกระดูกสันหลังเป็นโครงสร้างที่เป็นแกนกลางของลำตัว และยังเกี่ยวข้องกับระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาท ความผิดปกติหรือโรคที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลังจึงมีความสำคัญในทางการแพทย์อย่างมาก ความผิดปกตินี้อาจเป็นมาแต่กำเนิด หรืออาจเกิดจากความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก หรืออาจเกิดจากอุบัติเหตุ ตัวอย่างของความผิดปกติของกระดูกสันหลังได้แก่

2.2.1 สไปนา ไบฟิดา (Spina bifida) เป็นความผิดปกติที่มักเป็นมาแต่กำเนิด ซึ่งเกิดขึ้นจากแนวโค้งของ vertebral arches ทั้งสองด้านไม่เชื่อมต่อกันระหว่างการเจริญในครรภ์ ซึ่งมักจะเป็นที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง ผลคือทำให้ช่องภายในกระดูกสันหลังเปิดออกมา Spina bifida ที่พบโดยทั่วไปมีสองแบบ แบบที่พบได้บ่อยที่สุดคือแบบที่ไม่ร้ายแรง หรือ Spina bifida occulta โดยจะมีความผิดปกติที่ vertebral arches ของกระดูกสันหลังส่วนบนเอวขึ้นที่ 5 ถึงส่วนกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ โดยทั่วไปมักจะไม่มีอาการหรือความผิดปกติที่เด่นชัด หรืออาจมีแค่กระดูกของเส้นผมที่อยู่เหนือ spinous process ที่ผิดปกติเท่านั้น ส่วน Spina bifida ชนิดที่รุนแรงกว่าคือแบบที่มีความผิดปกติของแนวกระดูกสันหลังทางด้านหลังที่รอยต่อระหว่างกระดูกสันหลังส่วนบนเอวกับส่วนกระเบนเหน็บ ซึ่งจะทำให้มีถุงของ meninges ยื่นออกมาด้านนอก โดยในถุงนี้อาจมีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (cerebrospinal fluid) ซึ่งจะเรียกว่า เมนิงโกซีล (meningocele) หรืออาจมีบางส่วนของไขสันหลังหลุดออกมาด้วย ซึ่งจะเรียกว่า ไมอีโลเมนิงโกซีล (myelomeningocele) ซึ่งในกรณีนี้มักจะมีอาการความผิดปกติของระบบประสาทร่วมด้วย เช่น ความผิดปกติในการเดิน หรือการควบคุมการปัสสาวะ



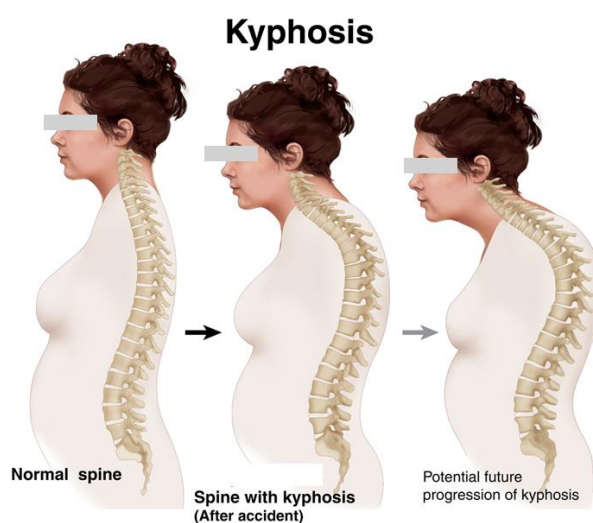
ภาพที่ 2-3 โรคสไปนา ไบฟิดา (Spina bifida)

2.2.2 กระดูกสันหลังคด (Scoliosis) เป็นภาวะที่กระดูกสันหลังมีความโค้งในแนวซ้ายขวาที่ผิดปกติ นอกจากนี้อาจมีการบิดหรือหมุนออกไปจากแนวเดิมของกระดูกสันหลังอีกด้วย ภาวะกระดูกสันหลังคดที่พบได้บ่อยที่สุดคือแบบ idiopathic scoliosis ซึ่งไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด โดยจะไม่พบในช่วงแรกเกิด แต่จะเกิดขึ้นในวัยเด็กหรือวัยรุ่น นอกจากนี้ส่วน โครงสร้างกระดูกสันหลัง เช่น ส่วนของ bodies, เพดิเซล หรือลามินี ก็ไม่พบความผิดปกติใด ๆ ในกรณีที่พบกระดูกสันหลังคดตั้งแต่กำเนิด จะเรียกว่า congenital scoliosis ซึ่งจะมีสาเหตุมาจากความผิดปกติระหว่างการเจริญเติบโต และยังพบว่ากลุ่มนี้จะมีความผิดปกติของผนังช่องอก หัวใจ รวมทั้งระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์ ดังนั้นผู้ป่วยในกลุ่มนี้จึงต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดจากผู้เชี่ยวชาญ ภาวะกระดูกสันหลังคดยังสามารถพบเป็นภาวะแทรกซ้อนจากโรคทางระบบประสาท เช่น โรคโปลิโอ (poliomyelitis) อีกด้วย ซึ่งจะเรียกกลุ่มนี้ว่า neuropathic scoliosis ภาวะกระดูกสันหลังคดอีกประเภทที่พบได้ไม่มาก แต่มีความสำคัญคือกระดูกสันหลังคดเนื่องจากความผิดปกติของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะที่เกิดจากโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง (muscular dystrophy) เนื่องจากกล้ามเนื้อบริเวณหลังไม่สามารถยืดกระดูกสันหลังไว้ได้ กระดูกสันหลังจึงคด โรคอื่น ๆ ที่สามารถทำให้เกิด scoliosis ได้เช่นกัน คือเนื้องอกของกระดูก เนื้องอกของไขสันหลัง และอาการหมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อน



ภาพที่ 2-4 ภาวะกระดูกสันหลังคด (Scoliosis)

2.2.3 หลังค่อม (Kyphosis) เป็นความผิดปกติของความโค้งในกระดูกสันหลังส่วนอก ทำให้เกิดภาวะหลังค่อม อาการนี้มักเป็นอาการแทรกซ้อนของโรคอื่น โดยเฉพาะวัณโรค (tuberculosis) ที่มีการแพร่กระจายของเชื้อเข้าไปในกระดูกสันหลัง ทำให้กระดูกสันหลังที่ติดเชื้อเกิดการงอลงมา ซึ่งเรียกภาวะนี้ว่า gibbus deformity ซึ่งเป็นภาวะที่พบได้มากในช่วงที่ก่อนจะมีการใช้ยารักษาวัณโรค



ภาพที่ 2-5 ภาวะหลังค่อม (Kyphosis)

2.3 การสร้างเส้นล้อมรอบขอบกระดูกสันหลัง (Spline)

การสร้างเส้น (Spline) จะใช้การประมาณค่า (Interpolation) ลากเส้นกราฟเสมือนฟังก์ชันผ่านจุดทุกจุดของข้อมูลที่มี เทคนิคนี้เหมาะสำหรับจุดข้อมูลทราบแน่ชัดว่ามีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณที่ซับซ้อน

หลักการของการสร้างเส้น คือ แทนข้อมูล $n+1$ จุด ด้วยเส้นจำนวน n เส้น สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายเส้นทั้งหมด 3 แบบ เริ่มจากง่ายที่สุดกรณีเส้นเป็นเส้นตรงเรียกว่า Linear Spline อันดับต่อไปก็คือ เส้นที่เป็นเส้นโค้งอันดับสองหรือเส้นโค้งพาราโบลา เรียกว่า Quadratic Spline และสุดท้ายเป็นเส้นที่ใช้กันมากที่สุดคือ เส้นที่เป็นเส้นโค้งอันดับสาม เรียกว่า Cubic Spline

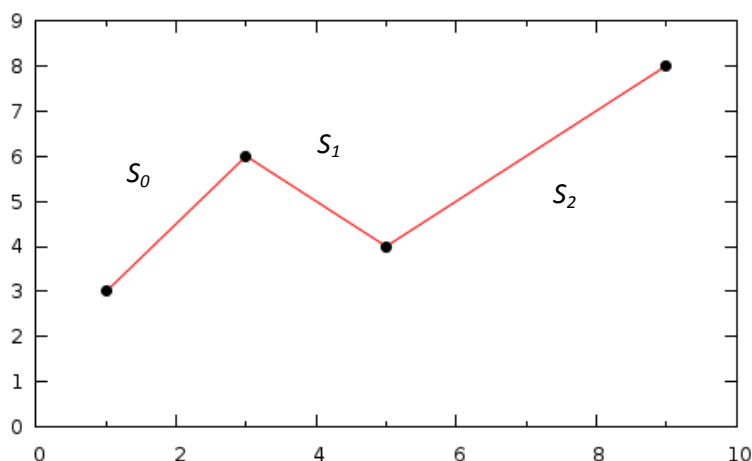
2.3.1 Linear Spline

สมมติว่า มีข้อมูลทั้งหมด 4 จุด ที่ตำแหน่ง x_0, x_1, x_2 และ x_3 โดยสามารถสร้างสมการเส้นตรง 3 เส้น คือ S_0, S_1 และ S_2 จากข้อมูลเหล่านี้ ดังภาพที่ 2-6 กำหนดให้ฟังก์ชัน $f(x)$ เป็นฟังก์ชันจริงที่ลากผ่านข้อมูลทั้ง 4 แล้วทำการสุ่มข้อมูลออกมา 4 จุด วิธีการนี้จะสร้างฟังก์ชัน S_j ที่เป็นการประมาณค่าฟังก์ชันจริงในแต่ละช่วงของค่า x โดย S_j เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นชนิด piece-wise continuous function

รูปแบบของ Linear Spline เขียนเป็นสมการดังนี้

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) \quad (2-6)$$

เมื่อ a_j และ b_j คือ พารามิเตอร์ของ Linear Spline



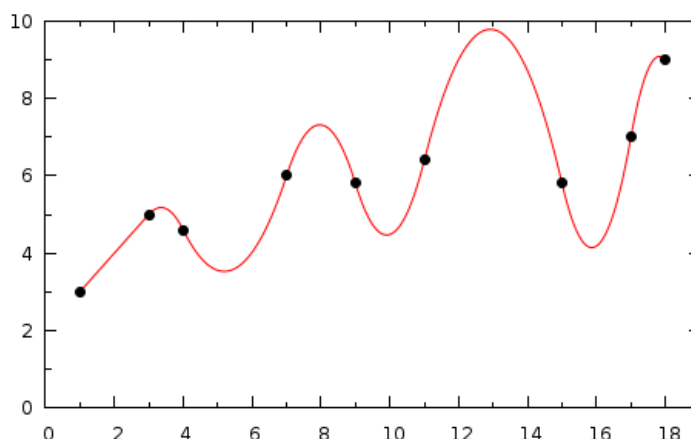
ภาพที่ 2-6 กราฟของ Linear Spline

2.3.2 Quadratic Spline

วิธี Quadratic Spline จะแก้ปัญหาของความไม่ต่อเนื่องที่จุด โดยใช้เส้นที่มี Order สูงขึ้น ทำให้เส้น 2 เส้นต่อเนื่องกันแบบอนุพันธ์ พิจารณาภาพที่ 2-7 ประกอบ

แต่ถึงแม้เส้นจะต่อเนื่องกันแบบอนุพันธ์ ในบางกรณีข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงกะทันหันในช่วงระยะ x ที่สั้นเกินไป Quadratic Spline ก็จะเบี่ยงเบนจากค่าที่ควรจะเป็น หรือค่าของฟังก์ชันจริงไปมาก รูปแบบของ Quadratic Spline เขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 \quad (2-7)$$



ภาพที่ 2-7 กราฟของ Quadratic Spline

2.3.3 Cubic Spline

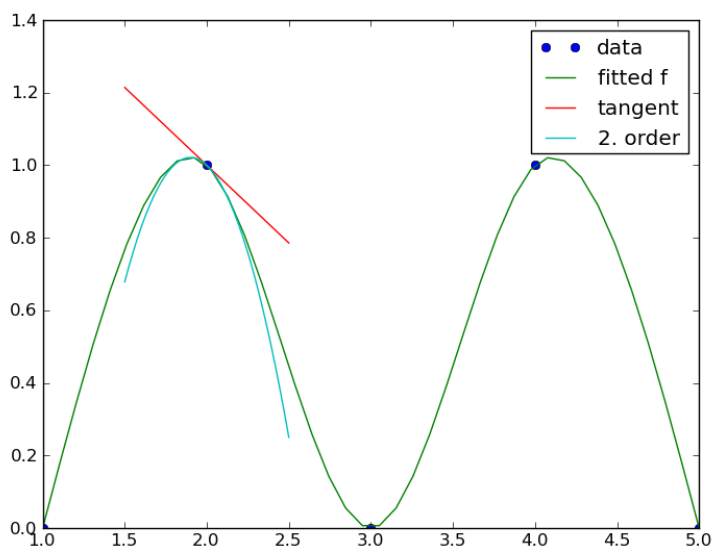
ภาพที่ 2-8 แสดงการสร้างสมการเส้นผ่านจุด 5 จุด ด้วยเส้นโค้งอันดับสาม หรือ Cubic Spline เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นอันดับสองและหนึ่ง จะพบว่ามีความใกล้เคียงกับฟังก์ชัน $f(x)$ จริงมากที่สุด และเส้นโค้ง S_j ที่ลากต่อ ๆ กันมีความราบเรียบ ไม่มีสะดุด เหมือนเป็นเส้นเดียวกัน

เขียนกราฟอธิบาย Cubic Spline รูปทั่วไปได้ดังภาพที่ 2-8 โดย Cubic Spline จะมีสมการเป็น

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3 \quad (2-8)$$

เมื่อ $S_j(x)$ คือ เส้นของช่วง (x_j, x_{j+1}) โดยที่ $0 \leq j \leq n-1$

หลักการสร้างเส้นแบบ Cubic Spline เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดในทางปฏิบัติ เพราะว่า วิธี Cubic Spline จะได้เส้นที่ไหลลื่นมาก ๆ ถึงแม้เส้นโค้งที่ได้จะประกอบจากเส้นหลาย ๆ เส้นต่อกัน



ภาพที่ 2-8 กราฟของ Cubic Spline

2.4 แอคทีฟคอนทัวร์ (Active Contour)

ขั้นตอนการทำงานในส่วนนี้ คือ การค้นหาส่วนที่เป็นขอบกระดูกสันหลังและสร้างเส้นล้อมรอบวัตถุดังกล่าว ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับระบบที่ได้ออกแบบไว้ จึงเลือกใช้วิธีการแบ่งขอบเขตของวัตถุด้วยแอคทีฟคอนทัวร์ (หรือ snake) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ Parametric active Contour และ Geometric Active Contour สำหรับโครงการนี้เลือกใช้รูปแบบที่ปรับปรุงจาก Geometric Active Contour เรียกว่า Active Spline Model วิธีการดังกล่าวมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการหาขอบเขตของภาพให้มีความเร็วและความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการประยุกต์วิธีการหาทิศทางการไหลของเกรเดียนท์เวกเตอร์ (GVF : Gradient Vector Flow) โดยนิยามได้ดังนี้

$$V_g(x, y) = [u(x, y) \vee v(x, y)]$$

เมื่อ $V_g(x, y)$ คือ เวกเตอร์ที่ชี้จากจุดใด ๆ ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของวัตถุ โดย (x, y) คือ พิกัดของจุด และ u, v คือ โปรเจกชันของเวกเตอร์ $V_g(x, y)$ ในทิศทางของแนวแกน x และแนวแกน y

กำหนดให้แต่ละจุดของกลุ่มจุดใน Snake Curve จากกลุ่ม $P_{i,j}$ ถึง P_{i+j+1} ดังนั้นจึงสามารถนิยามอัลกอริทึมได้ดังนี้

$$P_{i+j+1} = P_{i,j} + [V_{\text{int}}(p_{i,j}) + \Gamma V_{\text{ext}}(P_{i,j})] \quad (2-1)$$

เมื่อ I คือ ตัวชี้ใน Snake Curve โดย j คือ จำนวนของการทำซ้ำ ซึ่ง V_{int} คือ แรงที่กระทำภายในซึ่งทำหน้าที่ลดค่าของฟังก์ชันพลังงาน (Energy Function) และ V_{ext} คือ แรงที่กระทำจากภายนอก ดังสมการที่ (2-2)

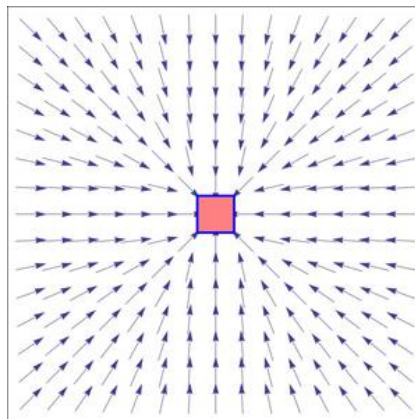
$$E(V_{\text{int}}) = \alpha E_{\text{cont}}(V_{\text{int}}) + \beta E_{\text{curv}}(V_{\text{int}}) \quad (2-2)$$

เมื่อ E_{cont} คือ แรงของการต่อเนื่อง และ E_{curv} คือ แรงของส่วนที่เป็นส่วนโค้งตามลำดับ

ในที่นี้ V_{ext} หมายถึงเวกเตอร์ของแรงที่มีทิศทางจากแต่ละจุดของ Snake Curve ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตที่แท้จริงของวัตถุ ซึ่งเทคนิคของ Active Spline Model ใช้ค่าเฉลี่ยของการกระจายตัวรอบทิศทาง สำหรับการหาสนามของ GVF อธิบายจากภาพที่ 2-9 ประกอบ เพื่อใช้เป็นสนามของเวกเตอร์ของแรงที่กระทำจากภายนอก ดังสามารถนิยามได้ดังนี้

$$V_{\text{ext}}(x, y) = \frac{1}{4} [V_g(X-1, y) + V_g(x+1, y) + V_g(x, y-1) + V_g(x, y+1)] \quad (2-3)$$

และเพื่อให้สัญญาณรบกวนมีผลกระทบต่อระบบน้อยที่สุดดังนั้นจึงมีการปรับค่าของ α, β และ T เป็นดังต่อไปนี้ คือ $\alpha = \beta = 0$ และ $T = 1$



ภาพที่ 2-9 หาทิศทางการไหลของแรงแคเียนท์เวกเตอร์

จากนั้นกำหนดให้ V_{int} แทนในสมการที่ (2-1) ทำให้ได้ สมการที่ (2-4) สำหรับหาค่าของ P_{i+j+1}

$$P_{i+j+1} = P_{i,j} + V_{ext}(P_{i,j}) \quad (2-4)$$

จากสมการที่ (2-4) หมายความว่าพฤติกรรมเคลื่อนที่ของ Snake Curve จะเป็นอิสระจากแรงกระทำภายใน กล่าวคือมีเพียงแรงที่เกิดจากการดึงจากจุดหนึ่ง ๆ ใน Snake Curve ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตที่แท้จริงของวัตถุ ดังแสดงทิศทางของสนามทิศทางการไหลของแรงแผ่นดินไหวที่เวกเตอร์

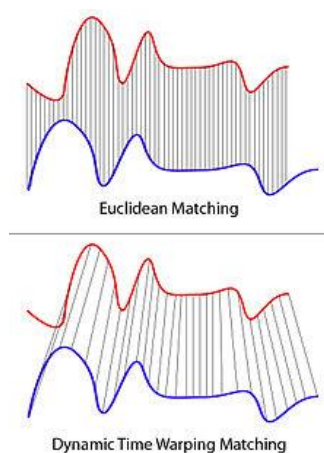
แต่ละจุดของ Snake Curve เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นและมีพฤติกรรมคือเคลื่อนไหวเข้าสู่ส่วนที่เป็นขอบเขตของวัตถุ เนื่องจากจุดประสงค์หลักของระบบที่นำเสนอในบทความนี้คือต้องการค้นหาส่วนที่เป็นขอบของกระดูกสันหลัง และภาพที่นำมาเป็นอินพุตของระบบคือภาพกระดูกสันหลัง ดังนั้นในระบบที่นำเสนอจึงมีการกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับการค้นหาคือบริเวณขอบภาพแล้วให้ Snake Curve หุบเข้าหาขอบกระดูกแทนโดยการหาทิศทางเคลื่อนที่ตำแหน่งของแต่ละจุดได้จากสมการที่ (2-4) แต่เนื่องจากภาพที่นำเข้าสู่ระบบมีขนาด รูปแบบ และความซับซ้อนไม่เท่ากัน จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดจำนวนรอบของการทำซ้ำที่แน่นอนได้ แต่จากการสังเกตพฤติกรรมการลู่เข้าหาส่วนที่เป็นขอบของวัตถุคือรูปร่างของ Snake Curve จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยมาก ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวโครงงานนี้จึงสามารถกำหนดการสิ้นสุดของการทำซ้ำ เมื่อ Snake Curve ที่ได้ใหม่กับ Snake Curve ของเดิมมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงเทคนิคที่โครงงานนี้เลือกมาใช้วัดความคล้ายกันของ Snake Curve เพื่อจำแนกประเภทของกระดูกสันหลัง คือ เทคนิค Dynamic Time Warping

2.5 ไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping : DTW)

เป็นขั้นตอนวิธีสำหรับการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของลำดับที่มีความแตกต่างกันในด้านเวลาหรือความเร็ว เช่น รูปแบบการเดินของคน ๆ หนึ่งจะถูกนับว่ามีความคล้าย ไม่ว่าคน ๆ นั้นจะเดินอย่างรวดเร็ว เดินอย่างเชื่องช้า หรือแม้แต่เดินด้วยความเร่ง เมื่อพิจารณาจากผู้สังเกตเดียวกัน ซึ่งไดนามิกไทม์วอร์ปิงสามารถนำไปประยุกต์ได้กับวิดีโอ เสียง และภาพ รวมไปถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเส้นได้ ตัวอย่างหนึ่งของการประยุกต์ขั้นตอนวิธีนี้ไปใช้คือการรู้จำคำพูด โดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปิง เพื่อจัดการกับคำพูดที่มีความเร็วไม่เท่ากัน แม้จะสื่อความหมายเดียวกัน

โดยทั่วไปไดนามิกไทม์วอร์ปิงเป็นวิธีที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถหาการจับคู่ที่เหมาะสมของลำดับสองชุดได้ภายใต้ข้อจำกัด ลำดับเหล่านั้นจะถูกบิดเบือน (warp) แบบไม่คงที่ในหน่วยของเวลา เพื่อที่จะพิจารณาความคล้ายจากการกระจายแบบไม่คงที่ในหน่วยของเวลา โดยจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นระยะทางและวิธีการปรับแนว (alignment) ที่ดีที่สุด

ในการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลัง ซึ่งใช้ข้อมูลทางเชิงเส้นมาใช้ในการหาความแตกต่าง มี 2 วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Dynamic Time Warping และ Euclidean Distance แต่เนื่องจากวิธี Dynamic Time Warping มีความยืดหยุ่นมากกว่า Euclidean Distance อธิบายจากภาพที่ 2-10 ประกอบ ในการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังซึ่งใช้การเปรียบเทียบโดยใช้ Template ภาพ ที่มีความเกี่ยวเนื่องทางเวลา เราจึงเลือกใช้วิธี Dynamic Time Warping



ภาพที่ 2-10 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ Dynamic Time Warping ที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า Euclidean Distance

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

ในบทนี้การทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนการทดลอง ในส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลากเส้นแบบ Cubic Spline กับ Catmull-Rom Spline ในส่วนถัดมาเป็นการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือ และแอคทีฟคอนทัวร์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ และในส่วนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังระหว่างตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance และ Dynamic Time Warping Distance

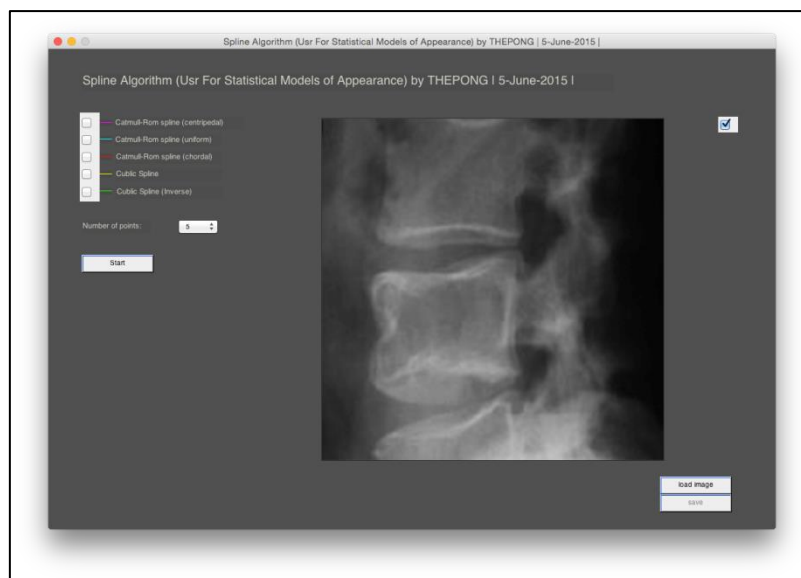
3.1 รูปแบบการทดลอง

3.1.1 เปรียบเทียบ Spline ในการลากเส้นเชื่อมแบบ Cubic กับ Catmull-Rom

ในการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการเชื่อมจุดเส้นโค้งแบบ Cubic กับเส้นโค้งแบบ Catmull-Rom โดยดูจากลักษณะการเกาะขอบของเส้นโค้งแต่ละชนิด



ภาพที่ 3-1 ภาพฟิล์มเอกซเรย์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองจำนวน 10 ภาพ



ภาพที่ 3-2 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับทดลองการสร้าง Spline

วิธีการทดลองในส่วนที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลฟิล์มเอกซเรย์กระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอจำนวน 10 ภาพ

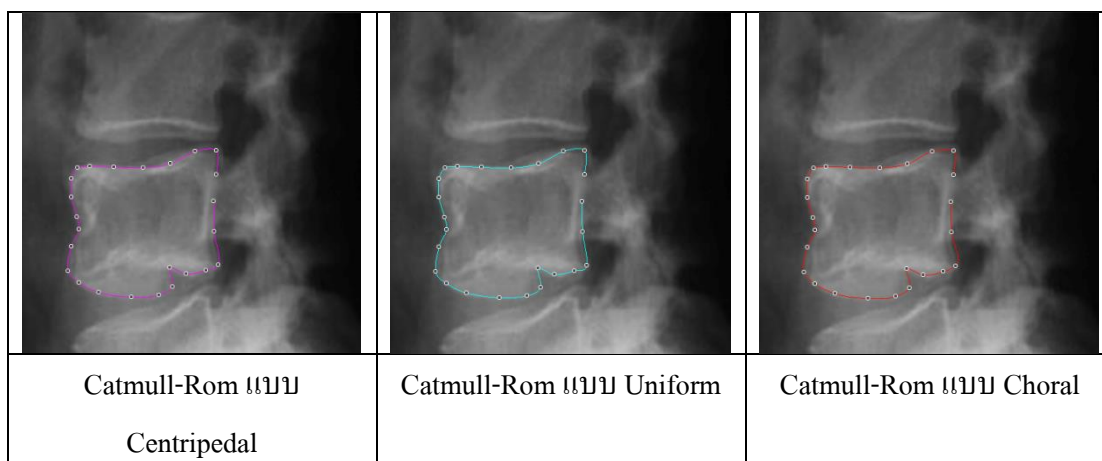
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดจุดทั้งหมด 140 จุด เป็นจำนวน 7 ปล้อง โดยคิดเป็นปล้องละ 20 จุด

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกชนิดของเส้นโค้งทั้ง 2 แบบ คือ เส้นโค้ง Catmull-Rom กับเส้นโค้ง Cubic

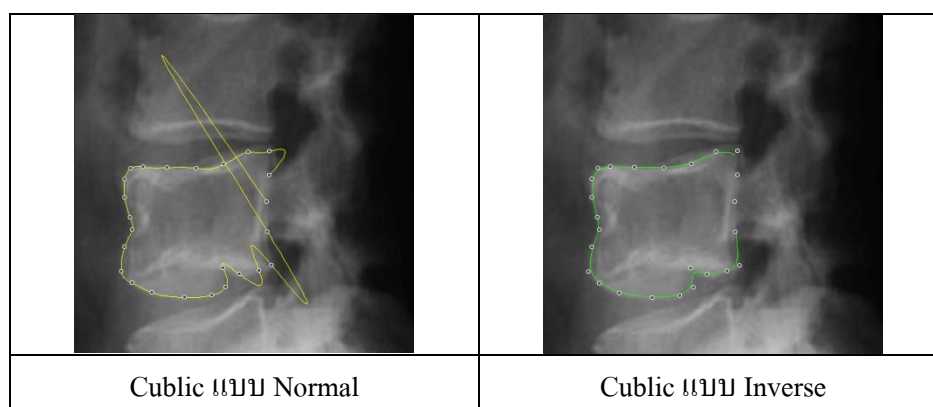
ขั้นตอนที่ 4 เริ่มจากทดลองสร้างเส้นโค้ง Catmull-Rom ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 แบบคือ เส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ Centripetal เส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ uniform และ เส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ Chordal

ขั้นตอนที่ 5 จากนั้นทำการทดลองสร้างเส้นโค้ง Cubic ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบ คือ เส้นโค้ง Cubic แบบ Normal และเส้นโค้ง Cubic แบบ Inverse

ขั้นตอนที่ 6 สังเกตพฤติกรรมการสร้างเส้นโค้งแต่ละแบบแล้วนำไปบันทึกผลการทดลอง

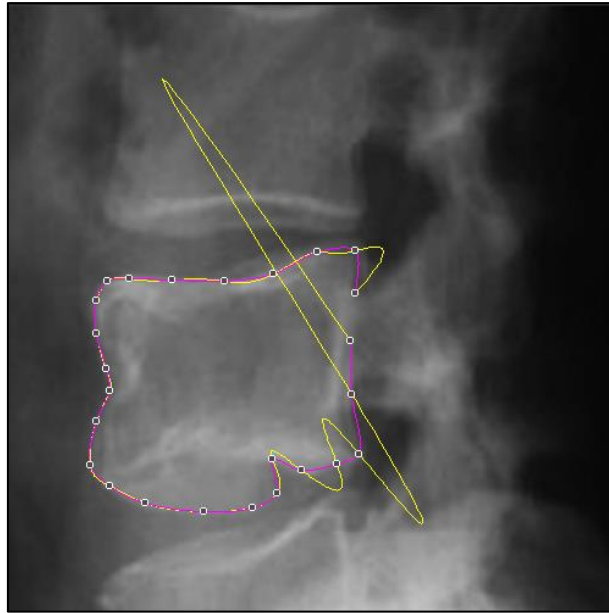


ภาพที่ 3-3 การสร้างเส้นโดยใช้ Catmull-Rom Spline



ภาพที่ 3-4 การสร้างเส้นโดยใช้ Cubic Spline

สังเกตพฤติกรรมการสร้างเส้นโค้งแต่ละแบบ โดยภาพที่ 3-3 เป็นการสร้างเส้นโค้ง Catmull-Rom โดยเรียงลำดับการสร้างเส้นโค้ง (ภาพซ้ายไปภาพขวา) ทั้ง 3 แบบ คือ 3 แบบ คือ เส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ Centripetal เส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ uniform และเส้นโค้ง Catmull-Rom แบบ Choral และภาพที่ 3-4 เป็นการสร้างเส้นโค้ง Cubic โดยเรียงลำดับการสร้างเส้นโค้ง (ภาพซ้ายไปภาพขวา) ทั้ง 2 แบบ คือ เส้นโค้ง Cubic แบบ Normal และเส้นโค้ง Cubic แบบ Inverse



ภาพที่ 3-5 การสร้างเส้นแบบ Catmull-Rom Spline และแบบ Cubic Spline

3.1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ Active Contour และการกำหนดจุดด้วยมือ

วิธีการของแอคทีฟคอนทัวร์

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดคอนทัวร์เริ่มต้น (Initialization)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาสนามการไหลของเวกเตอร์ (Vector Flow Field)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาขนาดของสนามการไหลของเวกเตอร์ ($\|F(s)\|$)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหา F_{int}

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหา F_{ext} โดยใช้ขนาดสมการการไหลของเวกเตอร์เป็นแรงภายนอก

$$F_{ext} = \|F(s)\|$$

ขั้นตอนที่ 6 ปรับคอนทัวร์เข้าหาทิศทางของขอบภาพ

ขั้นตอนที่ 7 หา E_{snake}

ขั้นตอนที่ 8 ค่า snake สูงสุดหรือไม่ ถ้าใช่จบการทำงาน ถ้าไม่ใช่ ให้ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4

วิธีเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 2 แบบ

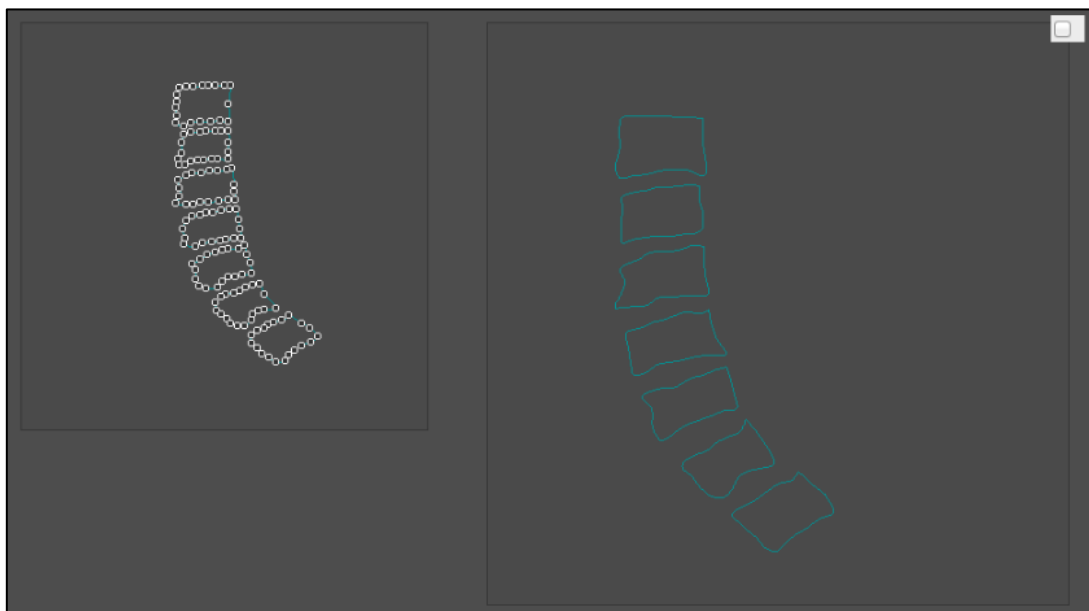
ขั้นตอนที่ 1 ทำการมาร์คจุดเป็นจำนวน 10 จุด ต่อ 1 ปล้อง ทำทั้งหมด 7 ปล้อง



ภาพที่ 3-6 การกำหนดจุด 20 จุดต่อ 1 ปล้อง โดยทำทั้งหมด 7 ปล้อง

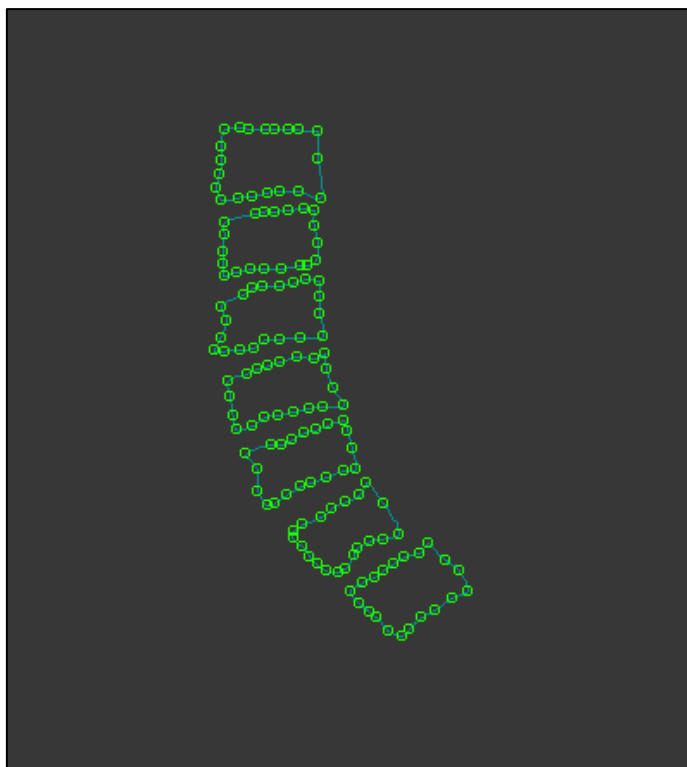
ทำการเริ่มกำหนดจุดจากปล้องที่ 1 ไล่ไปจนถึงปล้องที่ 7 โดยแต่ละปล้องทำการกำหนดจุดปล้องละ 20 จุด โดยกำหนดจุดเริ่มจากตำแหน่งขวบนไล่ไปทางซ้ายจนครบ 20 จุด จากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นโค้ง Catmull-Rom ล้อมรอบขอบกระดูกแต่ละปล้องจากจำนวนทั้งหมด 7 ปล้อง

ขั้นตอนที่ 2 นำจุดที่ได้จากการรันโค้ดของการตรวจจับของโปรแกรมออกมา



ภาพที่ 3-7 การทำเทรนนิงให้กับภาพกระดูกแต่ละครั้ง

จากภาพที่ 3-8 ภาพซ้ายเป็นการแสดงการกำหนดจุดด้วยมือโดยทำการกำหนดจุดทั้งหมด 140 จุด โดยแบ่งเป็นการกำหนดจุดปล้องละ 20 จุด ทำทั้งหมด 7 ปล้อง โดยเรียกภาพซ้ายว่า กระดูกต้นแบบ และมีการสร้างเส้นโค้ง Catmull-Rom ล้อมรอบขอบกระดูก จากนั้นภาพขวาจะเป็นการทำเทรนนิงให้กับรูปกระดูกต้นแบบ (ภาพซ้าย) เป็นจำนวนทั้งหมด 3 ภาพเพื่อนำไปเป็นภาพแผ่นแบบสุดท้าย แสดงในภาพที่ 3-9 เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรมตรวจจับขอบกระดูกต่อไป



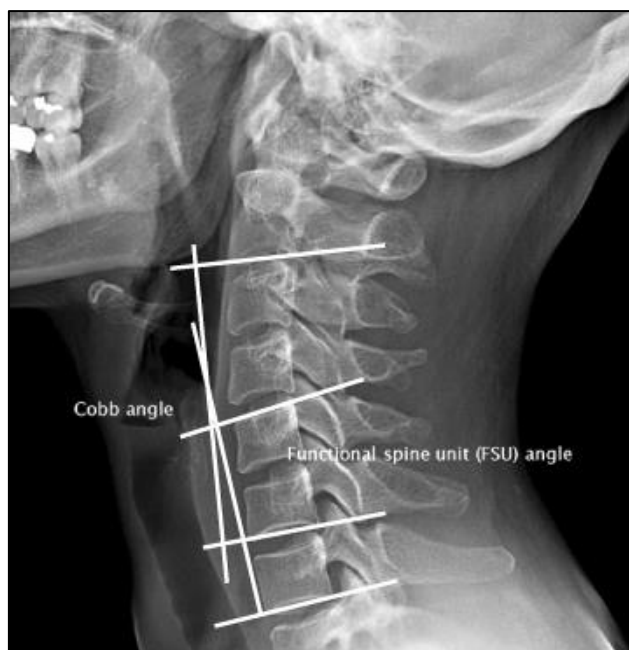
ภาพที่ 3-8 แผ่นแบบสุดท้ายของกระดุกส่วนคอเพื่อนำไปเข้าโปรแกรมสำหรับการตรวจจับขอบ
กระดุก

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดพิกเซลที่เกิดขึ้นระหว่างโปรแกรมตรวจจับขอบ
กระดุกกับจุดที่ได้จากการกำหนดด้วยมือ

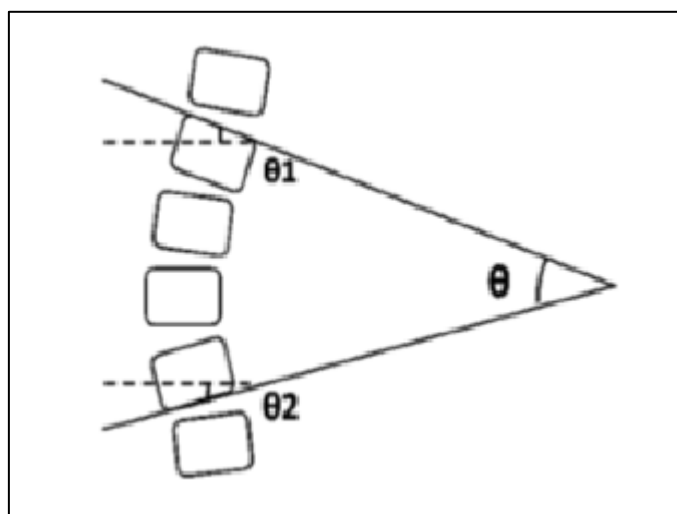
3.1.3 เปรียบเทียบมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการวัดมุมหลังจากโปรแกรมตรวจจับขอบกระดุกสิ้นสุดลง โดยทำการวัดมุม
Cobb จากปล้องที่ 1 เทียบกับปล้องที่ 2, ปล้องที่ 2 เทียบกับปล้องที่ 3 ทำไป
เรื่อย ๆ จนครบจำนวนปล้อง

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวัดมุม Cobb ด้วยมือโดยทำลักษณะเดียวกันกับโปรแกรม แต่ใช้ไม้ครึ่ง
วงกลมในการวัดมุม



ภาพที่ 3-9 การหามุม Cobb โดยเทียบระหว่างปล้อง



ภาพที่ 3-10 การหามุม Cobb โดยใช้การวัดมุมจากไม้ครึ่งวงกลม

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปรียบเทียบมุมที่เกิดขึ้นระหว่างมุม Cobb ที่ได้จากโปรแกรมกับการ
คำนวณด้วยมือโดยวัดเป็นองศา

ขั้นตอนที่ 4 สรุปผลการทดลอง

3.1.4 เปรียบเทียบตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance กับ Dynamic Time

Warping Distance

ขั้นตอนที่ 1 วัดระยะโดยใช้ ตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance กับภาพ
กระดุก

ขั้นตอนที่ 2 วัดระยะโดยใช้ ตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Dynamic Time Warping
Distance กับภาพกระดุก

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปรียบเทียบตัวจำแนกแต่ละแบบ

ขั้นตอนที่ 4 สรุปผลการทดลอง

บทที่ 4

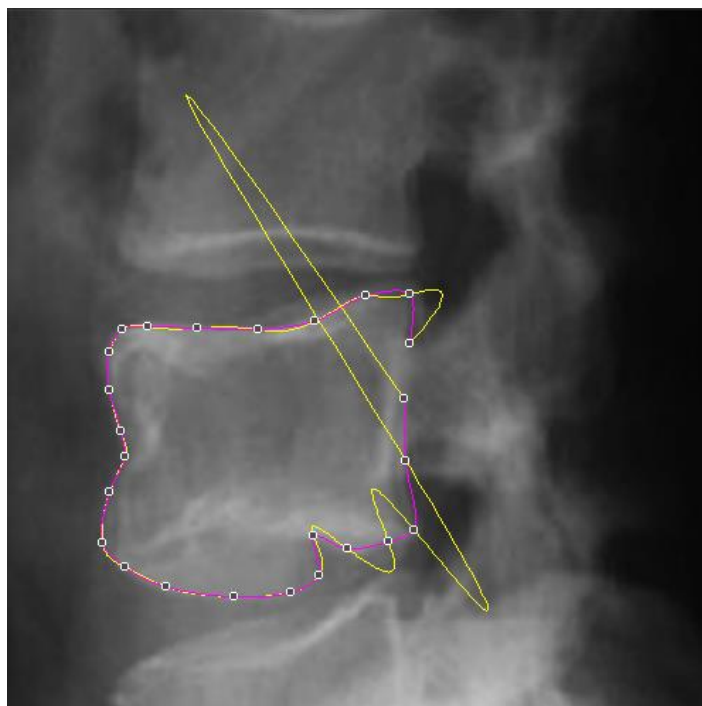
ผลการทดลอง

ในบทนี้ผลการทดลองที่ได้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลากเส้นเชื่อมแบบ Cubic Spline กับ Catmull-Rom Spline ในส่วนถัดมาเป็นผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือ และแอคทีฟคอนทัวร์ จากนั้นทำการแสดงผลการเปรียบเทียบมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ และในส่วนสุดท้ายเป็นผลการเปรียบเทียบการจำแนกประเภทของกระดุกันหลังระหว่างตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance และ Dynamic Time Warping Distance

4.1 ผลการเปรียบเทียบการลากเส้นเชื่อมแบบ Cubic Spline กับ Catmull-Rom Spline

จากผลการทดลองพบว่า ภาพที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าเส้นโค้ง Catmull-Rom (เส้นสีม่วง) มีลักษณะการเกาะขอบกระดุกได้ดีกว่าเส้นโค้งแบบ Cubic (เส้นสีเหลือง) โดยลักษณะการเกาะขอบกระดุกของเส้นโค้ง Catmull-Rom (เส้นสีม่วง) จะเกาะไปตามขอบกระดุกโดยเส้นโค้งสามารถยึดขอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่เส้นโค้ง Cubic (เส้นสีเหลือง) จะมีลักษณะเส้นโค้งที่หลุดออกจากการยึดขอบกระดุกอย่างชัดเจน

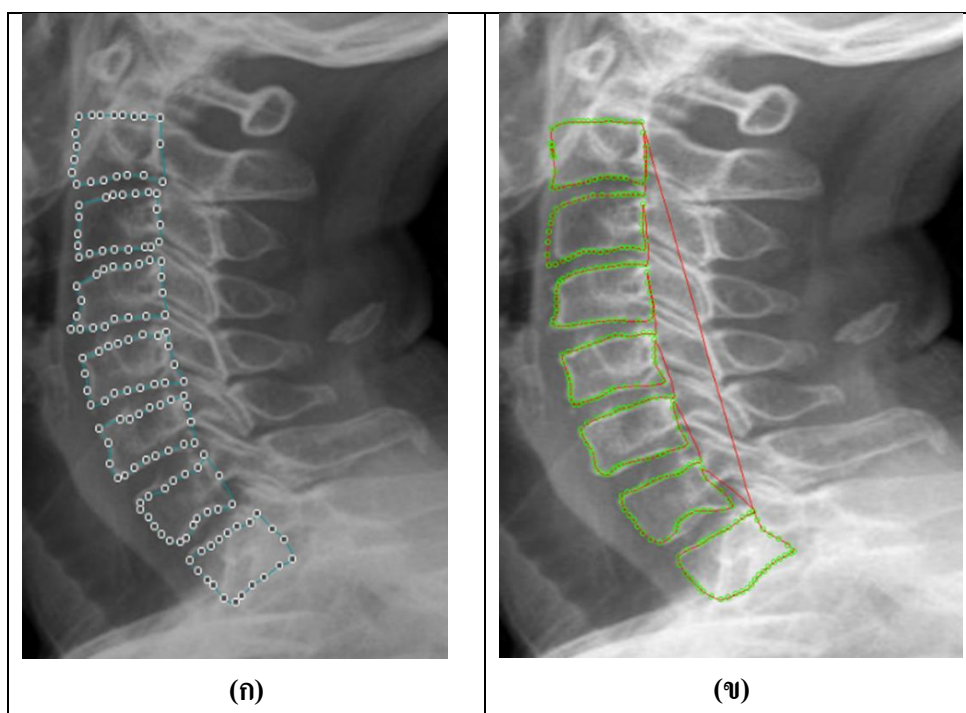
จากการทดลองการสร้างเส้นทั้ง 2 แบบ โดยใช้ Cubic Spline และ Catmull-Rom Spline ทำให้เลือกที่จะใช้ Catmull-Rom เพราะเส้นมีการจับขอบกระดุกได้ค่อนข้างดีกว่า Cubic Spline



ภาพที่ 4-1 ผลการทดลองจากการสร้างเส้น 2 แบบ

4.2 ผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์

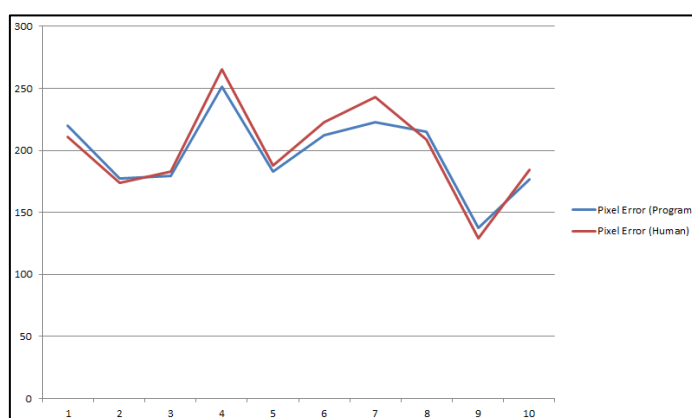
จากผลการลองพบว่าจากภาพที่ 4-2 แบ่งออกเป็น ภาพที่ 4-2 (ก) คือ ภาพการจับขอบกระดูกที่ได้จากการกำหนดจุดด้วยมือ จะกำหนดให้เป็นภาพจับขอบกระดูกที่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยนำไปเปรียบเทียบกับภาพที่ 4-2 (ข) คือ ภาพจับขอบกระดูกที่ได้จากการใช้แอคทีฟคอนทัวร์ จากผลการทดลองพบว่า ภาพจับขอบกระดูกที่ใช้แอคทีฟคอนทัวร์ แสดงในภาพที่ 4-3 (ข) มีลักษณะการจับขอบกระดูกที่ใกล้เคียงกับภาพจับขอบกระดูกที่กำหนดจุดด้วยมือแสดงในภาพที่ 4-3 (ก) โดยการเปรียบเทียบภาพจับขอบกระดูกระหว่างวิธีเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือ และแอคทีฟคอนทัวร์ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดประมาณ 2-9 เปอร์เซ็นต์แสดงดังตารางที่ 4-1 โดยทดลองกับภาพกระดูกทั้งหมด 10 ภาพ



ภาพที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์

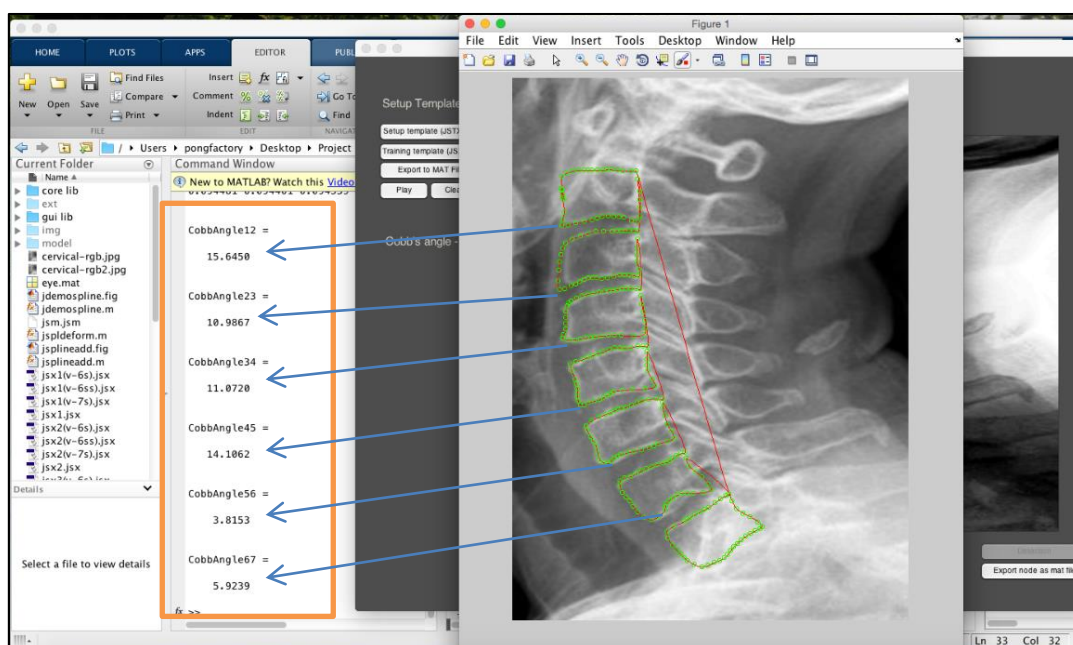
Cervical Number	แอคทีฟคอนทัวร์	การกำหนดจุดด้วยมือ	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
No.1	220.1775	211	4.09
No.2	177.5872	174	2.02
No.3	179.6861	183	1.84
No.4	251.0618	265	5.57
No.5	182.6562	188	3.29
No.6	212.2015	223	5.18
No.7	222.8770	243	9.45
No.8	215.3301	209	2.79
No.9	137.4674	129	5.84
No.10	176.7130	184	4.54
Average	197.5758	200.9	4.46



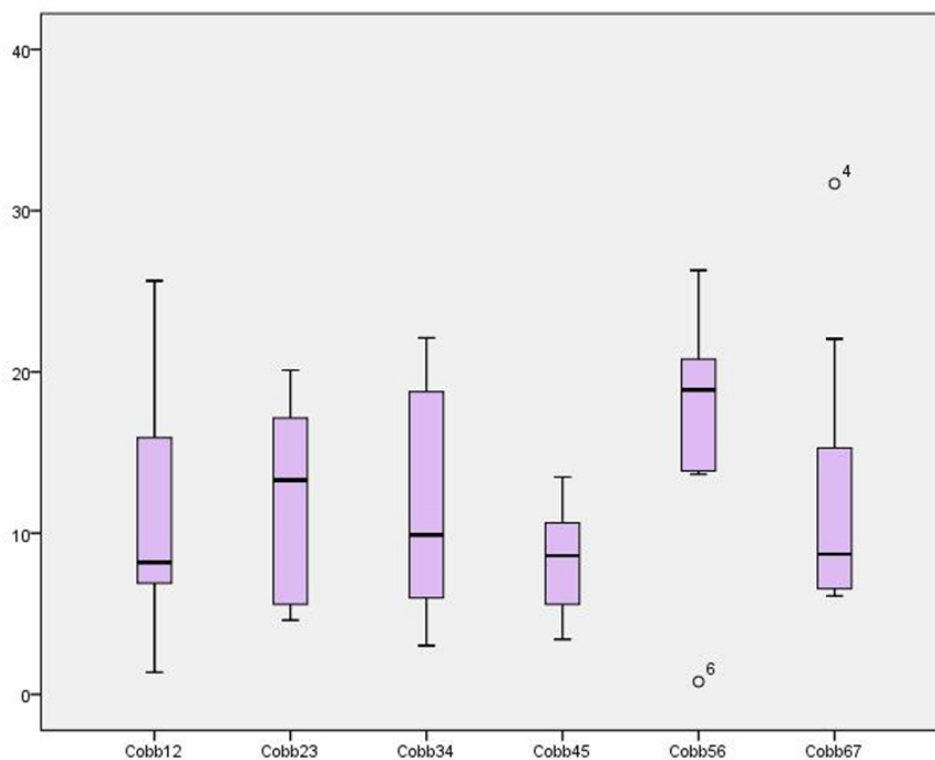
ภาพที่ 4-3 กราฟเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์

4.3 ผลการเปรียบเทียบการวัดมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ

จากผลการทดลองพบว่า ภาพที่ 4-4 เป็นการแสดงผลมุม Cobb ที่ได้จากการคำนวณหลังโปรแกรมจับขอบกระดูกทำงานเสร็จสิ้นโดยมุม Cobb จะได้ทั้งหมด 6 มุม โดยเทียบระหว่างปล้องของกระดูกสันหลังส่วนคอแต่ละปล้อง โดยจำนวนปล้องทั้งหมดมี 7 ปล้อง โดยจะนำมุม Cobb ทั้ง 6 มุม จากภาพที่ 4-4 ไปเปรียบเทียบกับมุม Cobb ที่ได้จากการวัดด้วยมือ โดยพบว่า มุม Cobb จากการคำนวณจากโปรแกรมจับขอบกระดูกยังคงมีค่าคลาดเคลื่อนโดยจะแสดงเป็นกราฟ box plot สรุปผลการทดลอง โดยแสดงไว้ที่ ภาพที่ 4-5 เป็นภาพแสดงผลของมุมที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือแต่ละปล้องเทียบกัน



ภาพที่ 4-4 มุม Cobb ที่ได้จากโปรแกรมหลังจากทำการตรวจจับขอบกระดูกเสร็จสิ้น



ภาพที่ 4-5 มุมที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือแต่ละปล้องเทียบกัน

จากภาพที่ 4-5 เป็นการแสดงกราฟจากการเปรียบเทียบมุม Cobb ระหว่างมุม Cobb ทั้ง 6 มุมจากโปรแกรม เทียบกับมุม Cobb ทั้ง 6 มุมจากการวัดด้วยมือ โดยพบว่า มุม Cobb จากการคำนวณจากโปรแกรมตรวจจับขอบกระดูกยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อน

4.4 ผลการเปรียบเทียบการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังระหว่างตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance และ Dynamic Time Warping Distance

จากผลการทดลองพบว่า จากตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 ระยะการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Dynamic Time Warping กับ Euclidean จะมีค่าที่แตกต่างกัน ค่า Dynamic Time Warping จะมีค่าน้อยกว่าค่า Euclidean และตารางที่ 4-4 พบว่าภาพกระดูกสันหลังภาพที่ 6 ถึง ภาพที่ 8 เป็นภาพกระดูกสันหลังหลังที่ผิดปกติ

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบค่าระยะแบบ Dynamic Time Warping ระหว่าง template และรูปทดสอบ

Template Test	Normal 1	Normal 2	Normal 3	Abnormal 1	Abnormal 2	Abnormal 3
Cervical 1	0	1.96	19.51	0.20	45.33	103.09
Cervical 2	0.20	1.20	16.20	0	49.68	109.57
Cervical 3	1.73	0.02	9.88	0.97	61.18	125.35
Cervical 4	1.96	0	9.12	1.20	63.03	127.43
Cervical 5	19.51	9.12	0	16.20	108.47	199.56
Cervical 6	45.33	63.03	108.47	49.68	0	16.01
Cervical 7	103.09	127.43	199.56	109.57	16.01	0
Cervical 8	43.14	60.61	105.80	47.87	0.04	17.37
Cervical 9	29.26	15.47	0.99	24.83	124.23	222.37
Cervical 10	13.30	4.88	0.75	10.58	95.53	178.95

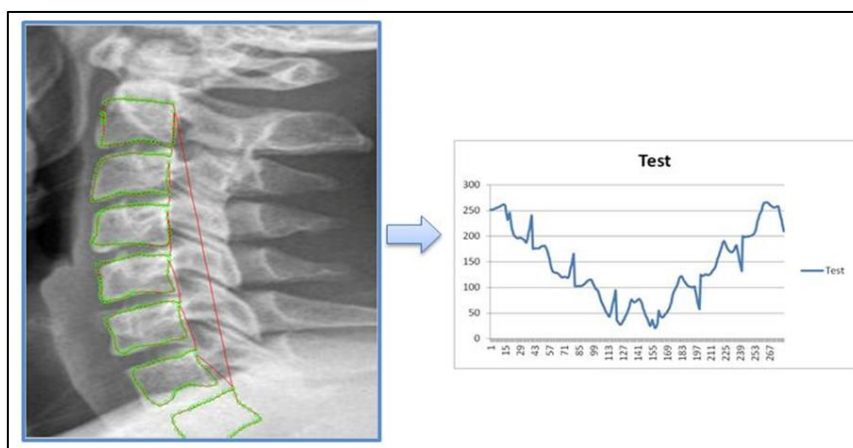
ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบค่าระยะแบบ Euclidean ระหว่าง template และรูปทดสอบ

Template Test	Normal 1	Normal 2	Normal 3	Abnormal 1	Abnormal 2	Abnormal 3
Cervical 1	0	60.77	196.12	16.84	290.79	469.14
Cervical 2	16.84	43.92	179.27	0	307.64	485.98
Cervical 3	55.45	5.32	140.67	38.60	346.25	524.59
Cervical 4	60.77	0	135.35	43.92	351.57	529.91
Cervical 5	196.12	135.35	0	179.27	486.91	665.25
Cervical 6	290.79	351.57	486.91	307.64	0	178.34
Cervical 7	469.14	529.91	665.25	485.98	178.34	0
Cervical 8	283.85	344.62	479.97	300.70	6.94	185.29
Cervical 9	235.90	175.12	39.77	219.05	526.69	705.03
Cervical 10	162.21	101.44	33.90	145.37	453.01	631.35

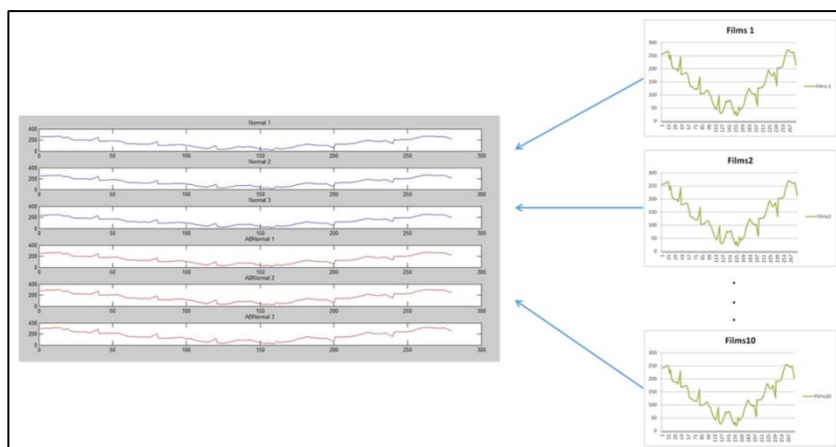
จากตารางที่ 4-4 คือ ผลการจำแนกประเภทกระดูกสันหลัง โดยดูจากค่าน้อยสุดสามลำดับแรกโดยทำการไฮไลต์ค่าเป็นสีเทา ยกตัวอย่างกรณีผู้ป่วยคนที่ 1 (Cervical 1) พบว่ามีกระดูกสันหลังเป็นปกติ เพราะค่าที่น้อยอยู่ฝั่ง Normal ถึงสองค่าซึ่งมากกว่าฝั่ง Abnormal

ตารางที่ 4-4 ผลการจำแนกประเภทกระดูกสันหลัง

Template Test	Normal 1	Normal 2	Normal 3	Abnormal 1	Abnormal 2	Abnormal 3	ค่าจริง	ค่าจากผล ทดลอง
Cervical 1	0	1.96	19.51	0.20	45.33	103.09	Normal	Normal
Cervical 2	0.20	1.20	16.20	0	49.68	109.57	Normal	Normal
Cervical 3	1.73	0.02	9.88	0.97	61.18	125.35	Normal	Normal
Cervical 4	1.96	0	9.12	1.20	63.03	127.43	Normal	Normal
Cervical 5	19.51	9.12	0	16.20	108.47	199.56	Normal	Normal
Cervical 6	45.33	63.03	108.47	49.68	0	16.01	Abnormal	Abnormal
Cervical 7	103.09	127.43	199.56	109.57	16.01	0	Abnormal	Abnormal
Cervical 8	43.14	60.61	105.80	47.87	0.04	17.37	Abnormal	Abnormal
Cervical 9	29.26	15.47	0.99	24.83	124.23	222.37	Normal	Normal
Cervical 10	13.30	4.88	0.75	10.58	95.53	178.95	Normal	Normal



ภาพที่ 4-6 ผลจากการเปลี่ยนจุดเป็นกราฟเอกลักษณ์



ภาพที่ 4-7 เปรียบเทียบกับภาพแผ่นแบบทุกรูปจนครบเพื่อจำแนกภาพกระดูก

จากภาพที่ 4-7 เป็นการแสดงผลภาพแผ่นแบบจำนวน 6 รูป แบ่งออกเป็น Normal Template (รูปซ้าย) รูป (3 รูปบน) และ Abnormal Template (3 รูปล่าง) 3 รูป โดยทำการป้อนภาพกระดูก 10 ภาพ (รูปขวา) เข้าไปเปรียบเทียบกับภาพแผ่นแบบทุกรูปจนครบเพื่อจำแนกภาพกระดูก

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายเป็นสรุปผลการทดลองภาพรวมทั้งหมด 4 ส่วน โดยสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลากเส้นเชื่อมแบบ Cubic Spline กับ Catmull-Rom Spline สรุปผลการเปรียบเทียบการกำหนดจุดด้วยมือและแอคทีฟคอนทัวร์ สรุปผลเปรียบเทียบมุม Cobb ระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ และสรุปผลการเปรียบเทียบการจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังระหว่างตัวจำแนก k -Nearest Neighbor ที่ใช้ Euclidean Distance และ Dynamic Time Warping Distance

5.1 สรุปผล

ในโครงการนี้ได้ใช้อัลกอริทึมแอคทีฟคอนทัวร์ในการสร้างจุด และใช้ Gradient Vector Flow เพื่อหาจุดที่สร้างลู่เข้าไปจับขอบกระดูกสันหลังเนื่องจากประสิทธิภาพของแอคทีฟคอนทัวร์ มีความใกล้เคียงกับการกำหนดจุดด้วยมือ โดยเมื่อมีการสร้างจุดจะใช้เส้นโค้งมาวาดเป็นเส้นโค้งเพื่อเชื่อมแต่ละจุดไว้ล้อมรอบขอบกระดูก เลือกใช้เส้นโค้งแบบ Catmull-Rom Spline ทำให้ได้เส้นโค้งที่มีลักษณะการเกาะขอบได้มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นโค้ง Cubic Spline ที่มีลักษณะของเส้นหลุดขอบกระดูกสันหลัง เมื่อทำการจับขอบกระดูกแล้วทำการคำนวณมุมระหว่างปล้องด้วยวิธีวัดมุม Cobb ซึ่งมุม Cobb ที่ได้จากโปรแกรมอาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ และใช้การจำแนกประเภทของกระดูกสันหลังด้วยวิธี Dynamic Time Warping ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า Euclidean Distance ส่งผลทำให้จำแนกกระดูกสันหลังได้อย่างถูกต้อง และภาพกระดูกสันหลังส่วนคอภาพที่ 6-8 เป็นภาพที่ผิดปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจจับขอบกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนคอ การตรวจจับจำนวนปล้องของกระดูกสันหลังที่น้อยจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าจำนวนปล้องที่มาก เช่น การตรวจจับกระดูกเฉพาะส่วนบั้นเอว ซึ่งมีจำนวนปล้อง 5 ปล้อง จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการตรวจจับกระดูกเฉพาะส่วนคอ ในกรณีที่ใช้ อัลกอริทึมในการตรวจจับตัวเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

1. T.F. Cootes, C.J. Taylor, D.H. Cooper, J. Graham. Active shape models-their training and application, *Computer Vision and Image Understanding*. 61 (1995)38–59.
2. C. Xu, J.L. Prince, Snakes, shapes, and gradient vector flow. *IEEE Trans. on Image Process*. 7 (1998) 359–369.
3. E. Catmull. R. Rom. A class of local interpolating Splines, *Computer Aided Geometric Design*. Academic Press. (1974) 317–326.
4. V. Caselles, F. Catté, T. Coll, F. Dibos. A geometric model for active contours in image processing, *Numer. Math*. 66 (1993) 1–31.
5. โสภณ ผู้มีจรรยา. “แอ็คทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสำหรับการแบ่งส่วนภาพ.” *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, หน้า 1-6, มีนาคม 2556.
6. สนั่นศรีสุข. “การแบ่งส่วนภาพ.” ใน *การประมวลผลภาพขั้นสูง*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2556, บทที่ 5, หน้า 139-188.

ประวัติผู้แต่ง

ปรินญาณพนธ์เรื่อง : การตรวจจับและการจำแนกกระดูกสันหลังด้วยการประมวลภาพ
 สาขาวิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
 ชื่อ : ชีรพงศ์ ปานบุญยืน

ประวัติ

เกิดที่จังหวัดราชบุรี เมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2536 เป็นบุตรคนที่ 2 ในจำนวน 2 คน ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 433/54 ถนนศรีสุริยวงศ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลราชบุรี ปีการศึกษา 2547 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ ปีการศึกษา 2550 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากโรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2557

ชื่อ : ชัยดิษฐ์ แซ่มคำ

ประวัติ

เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2534 เป็นบุตรคนเดียว ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 105/69 หมู่บ้าน 89 บางบอนวิมลโครงการ 2 หมู่ที่ 4 แขวงบางบอน เขตบางบอน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10150 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนภาษานุสรณ์บางแค ปีการศึกษา 2546 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนศึกษานารีวิทยา ปีการศึกษา 2549 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากโรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2557

ประวัติผู้แต่ง (ต่อ)

ชื่อ : เฉลิมศักดิ์ กวางแก้ว

ประวัติ

เกิดที่จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2534 เป็นบุตรคนที่ 2 ในจำนวน 3 คน ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 3/1 หมู่ 12 ต.บ่อแฮ้ว อ.เมือง จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลลำปาง เเลงครั้นต้นอนุสรณ์ ปีการศึกษา 2546 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนอัสสัมชัญลำปาง ปีการศึกษา 2549 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนชุมแสงชนูทิศ ปีการศึกษา 2554 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2557