การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์เพื่อการฝึกหัด
ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

นายสิทธิยา เลิศวิราม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Design and Development of Fetal Echocardiography Practicing Software for Using with Personal Computer

Mr. Sitthiya Lertwiram

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์เพื่อการฝึกหัดด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
โดย	นายสิทธิยา เลิศวิราม
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุรศักดิ์ จันทรแสงอร่าม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สิทธิยา เลิศวิราม : การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์เพื่อการฝึกหัดด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (A Design and Development of Fetal Echocardiography Practicing Softwarefor Using with Personal Computer) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิษณุ คนองชัยยศ, 76 หน้า.

การตรวจคัดกรองโรคหัวใจพิการของเด็กทารกด้วยอัลตราซาวด์ตั้งแต่อยู่ในครรภ์ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเตรียมความพร้อมในการให้กำเนิดทารกที่เป็นโรคพิการทางหัวใจแต่กำเนิด ผู้ตรวจต้องขยับหัวตรวจ สังเกตภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ และวิเคราะห์จากความเข้าใจทางสรีรวิทยา ในการตรวจหัวใจทารกที่มีขนาดเล็กและมีทิศทางที่เกิดจากการเปลี่ยนท่านอนในการตรวจแต่ละครั้ง ซึ่งการฝึกตรวจกับคนไข้จริงไปไปได้ช้า ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาระบบจำลองการตรวจอัลตราซาวด์เพื่อนำมาช่วยเสริมสร้างประสบการณ์ และลดเวลาในการเรียนรู้แทนการฝึกจากการตรวจครรภ์จริง ผู้วิจัยเล็งเห็นประโยชน์ในการฝึกหัดด้วยซอฟต์แวร์ในการจำลองการฝึกตรวจด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนแพทย์สามารถฝึกหัดตรวจได้โดยสะดวกเนื่องจากความแพร่หลายและเข้าถึงได้ง่ายของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและออกแบบซอฟต์แวร์จำลองการตรวจเพื่อใช้ในการฝึกหัดตรวจคัดครองหัวใจทารกด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยในการออกแบบพัฒนา ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญในการศึกษาและปรับปรุงการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางที่มีอยู่ให้ประยุกต์ใช้กับการตรวจคัดกรองหัวใจเด็กที่เป็นข้อมูลสี่มิติ แล้วนำมาใช้ร่วมกับการออกแบบและพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ต้นแบบเพื่อใช้ในการฝึกหัดตรวจร่วมกับโรงพยาบาลในท้องถิ่น ในการทดสอบและประเมิน ได้ทำการทดสอบซอฟต์แวร์ในส่วนแสดงผลภาพระนาบตัดขวางที่ถูกออกแบบและพัฒนาและประเมินผลด้วยแบบสอบถาม ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าซอฟต์แวร์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการฝึกได้ และมีความเหมาะสมในการพัฒนาต่อเติมให้มีความสมบูรณ์ต่อการนำไปใช้จริง

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5470417321 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: SIMULATOR / VIRTUAL REALITY / ULTRASOUND VISUALIZATION / REAL-TIME GRAPHICS PIPELINE / TRAINING SYSTEM

SITTHIYA LERTWIRAM: A Design and Development of Fetal Echocardiography Practicing Softwarefor Using with Personal Computer. ADVISOR: ASST. PROF. DR. PIZZANU KANONGCHAIYOS, 76 pp.

Echocardiographic screening examination of the fetal heart plays an important role in maximizing prenatal detection of Congenital Heart Defect and helps provide useful information for properly care. With the fact that fetus heart is small and fetus may lies in different orientation in each examination, obstetrician requires physiology knowledge of fetus heart while interprets echocardiograms and motor probes with good dexterity. Today there are echocardiography simulators to help practicing without real patients. It is ideal to apply the concept with fetal heart screening using personal computer, which is widely available. Hence, we develop a software as a simulator for practicing fetal heart screening, with a key concerning on visualizing 4D ultrasound of a fetus heart as a sonogram while developing overall features required for practicing in cooperation with local hospital. In the end, we test our sonogram visualizer in concordance with real-time rendering problem and evaluate our overall features using a questionnaire. Results show that the software is applicable for practicing and should continue to be developed for using in real-world.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณพยาบาลราชวิถีและคณะสูตินรีแพทย์ สำหรับสถานพยาบาลและการปฏิบัติงานจริง ตลอดจนการให้เกียรติประเมินผลซอฟต์แวร์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.นพ. สุรศักดิ์ จันทรแสงอร่าม จากโรงพยาบาลราชวิถี ที่ให้คำแนะนำปรึกษาและดำเนินการประสานงานในโรงพยาบาล และให้ตัวอย่างข้อมูลอัลตราซาวด์จริงเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ในวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พิษณุ คนองชัยยศ ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ ที่คอยอบรมตลอดช่วงระยะเวลาการดำเนินการศึกษา และชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้ข้อคิดและข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณโครงการทุนอุดหนุนค่าเล่าเรียนสำหรับบัณฑิตวิศวฯ (50/50) ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องในห้องวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ และในห้องวิจัยที่ใกล้เคียงกัน ที่แบ่งปันความรู้ ให้ข้อคิด และเป็นกำลังใจให้กัน

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ที่สนับสนุนให้ข้าพเจ้ามีโอกาสได้เข้ามาศึกษาและเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานโดยสรุป 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 อุปสรรคในการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารก และเกณฑ์ในการตรวจคัดโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกในครรภ์ 5

2.2 ปริทัศน์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการฝึกหัดตรวจอัลตราซาวด์ 6

2.3 สายท่อกราฟิกส์ (Graphics pipeline) 11

2.4 การแสดงผลระนาบตัดขวางจากข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติ 15

2.5 การถ่ายโครงสร้างข้อมูลประเภทเอ็นดีอาร์เรย์ (ndarray) สู่สายท่อกราฟิกส์ 20

2.6 การจัดวางโรโตทรานสเลชั่น (roto-translation) 21

2.7 การจัดวางวัตถุในภาพแสดงปริภูมิสามมิติด้วยเมาส์ 22

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 25

หน้า

3.1 การกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ 25
3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์.....30
3.2.1 การจำลองการจัดวางวัตถุ และการแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางวัตถุ .31
3.2.2 การแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ 32
3.2.3 ภาพรวมของส่วนประกอบในซอฟต์แวร์ และอื่นๆ.....35
3.3 การทดสอบและประเมินผล.....41
3.3.1 การทดสอบการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ 41
3.3.2 การประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ 44
3.3.2.1 การประเมินผลแบบฮิวริสติก (Heuristic Evaluation).....45
3.3.2.2 การประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ (Summative/Comparative Evaluation).....47
บทที่ 4 รายงานการทดสอบ การประเมินผล และการวิเคราะห์ผล 48
4.1 การทดสอบคุณภาพของการแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ 48
4.2 การทดสอบความถี่ในการประมวลผลภาพ.....50
4.3 การประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ 53
4.4 อภิปรายผลการทดลอง.....54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....58
ข้อเสนอแนะ 60
รายการอ้างอิง.....63
ภาคผนวก.....68
ภาคผนวก ก คู่มือการติดตั้งและใช้งานซอฟต์แวร์ฝึกตรวจหัวใจทารกในครรภ์ 69
ภาคผนวก ข ตัวอย่างแบบสอบถาม 76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 4

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลปริมาณจุดภาพที่รองรับขั้นต่ำของเทกเจอร์สามรูปแบบ ตามมาตรฐานของโอเพ่นจีแอลสาม....20

ตารางที่ 3.1 หน้าที่ของซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์ 29

ตารางที่ 3.2 ขนาดของข้อมูลที่แปรผันตามปริมาณจุดภาพของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ 32

ตารางที่ 3.3 กลุ่มตัวอย่างของข้อมูลอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการทดสอบ 43

ตารางที่ 3.4 ข้อคำถามตามรูปแบบการประเมินผลแบบฮิวริสติกของ Nielsen (1994)....46

ตารางที่ 3.5 ข้อคำถามตามรูปแบบการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ....47

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบภาพจากซอฟต์แวร์ 4 D View และส่วนแสดงผลของงานวิจัย 49

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบภาพซอฟต์แวร์ 4D View และส่วนแสดงผลของงานวิจัยที่ละเว้นบริเวณขอบรูปกรวย 49

ตารางที่ 4.3 ความถี่ในการแสดงผลของข้อมูลตัวอย่าง และปริมาณจุดภาพที่อยู่ในพื้นที่รูปกรวย....51

ตารางที่ 4.4 ความถี่ในการแสดงผลของข้อมูลตัวอย่าง ที่ขยายพื้นที่รูปกรวยให้ครอบคลุมเต็มกรอบแสดงผล....52

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินแบบภาพรวม และแบบการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ....53

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินตามรูปแบบการประเมินผลแบบฮิวริสติกของ Nielsen (1994)....54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นและการส่งข้อมูลภายในสายท่อกราฟิกส์ของโอเพ่นจีแอลสาม ... 12
รูปที่ 2.2 การกำหนดจุดภาพในลำดับขึ้นแรสเตอร์ไรเซชัน ... 14
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบตารางแบบคาร์ทีเซียน และตารางแบบส่วนของทรงกลม ... 16
รูปที่ 2.4 การบันทึกข้อมูลของอาร์เรย์สามมิติเป็นแถวเดียว ... 18
รูปที่ 2.5 ระยะพิกัดอัลตราซาวด์ที่มีลักษณะเป็นรูปแบบทรงกลมที่มีการดัดแปลง ... 18
รูปที่ 2.6 ภาพรวมลักษณะการสร้างจุดภาพ เพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ที่เกิดขึ้นในสายท่อกราฟิกส์ ... 19
รูปที่ 2.7 การจัดวางวัตถุด้วยเมาส์ตามระนาบ xz ... 23
รูปที่ 2.8 การกำหนดระนาบที่ใช้อ้างอิงการเคลื่อนขนานกับ ระนาบตั้งฉากกับทิศทางของกล้องเสมือน ... 24
รูปที่ 3.1 การสาธิตการฝึกตรวจจากทางโรงพยาบาล ... 26
รูปที่ 3.2 การแทนการจัดวางวัตถุที่คำนึงถึงในการฝึกตรวจ ด้วยการจัดวางโรโตทราสเลชั่นและทรีดีเซอร์เฟส ... 31
รูปที่ 3.3 รหัสโปรแกรมแฟรกเมนต์เชดเดอร์การแสดงผลภาพระนาบตัดขวาง (แบบย่อ) ... 34
รูปที่ 3.4 แผนผังบริบทอธิบายภาพรวมซอฟต์แวร์ชั้นที่สูงที่สุด ... 35
รูปที่ 3.5 แผนภาพกระแสข้อมูลของกระบวนการสร้างแบบฝึกหัด ... 36
รูปที่ 3.6 แผนภาพกระแสข้อมูลของการบวนการฝึกตรวจ ... 37
รูปที่ 3.7 การแสดงผลระนาบตัดขวางคู่กับภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุในปริภูมิ ... 38
รูปที่ 3.8 รายการขั้นตอนและปุ่มสำหรับเลือกจัดวางวัตถุในส่วนติดต่อผู้ใช้ ... 38
รูปที่ 3.9 หน้าต่างโปรแกรมส่วนสร้างแบบฝึกหัด ... 40
รูปที่ 3.10 หน้าต่างโปรแกรมส่วนฝึกตรวจ ... 40
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ในการแสดงผลกับปริมาณจุดภาพในรูปกรวย ... 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

รูปที่ ก.1 หน้าต่างตอนเริ่มใช้งาน 70
รูปที่ ก.2 หน้าต่างส่วนเลือกแบบฝึกหัด 71
รูปที่ ก.3 หน้าต่างใส่ชื่อผู้ฝึก 71
รูปที่ ก.4 หน้าต่างส่วนการฝึกตรวจ 72
รูปที่ ก.5 หน้าต่างส่วนช่อง Setting 72
รูปที่ ก.6 ปุ่มบันทึกภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ 73
รูปที่ ก.7 ส่วนเลื่อนขั้นตอน 74
รูปที่ ก.8 ปุ่มบันทึกภาพระนาบตัดขวางที่บันทึกภาพเอาไว้แล้ว 74
รูปที่ ก.9 หน้าต่างบันทึกไฟล์ผลการฝึกตรวจ 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

การตรวจพบโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกในครรภ์ (Congenital Heart Defect) มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกพบได้มากถึงประมาณร้อยละ 1 (Bettina และคณะ, 2004; Lee และคณะ, 2008) มีการกำหนดเกณฑ์การคัดกรองการตรวจด้วยอัลตราซาวด์ขึ้นโดยสมาคมแพทย์ที่เกี่ยวข้องให้เป็นแนวทางปฏิบัติที่สำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีรายงานสนับสนุนว่าการตรวจคัดกรองมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการลดอัตราการตายและพิการของทารก (Rychik และคณะ, 2004; Eik-Nes และคณะ, 2006; Centers for Disease Control and Prevention, 2007)

ในขั้นตอนของการตรวจคัดกรอง ผู้ตรวจต้องมีการปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างหัวใจของทารกในครรภ์ และหัวตรวจอัลตราซาวด์ ประกอบกับการใช้ความรู้ทางกายวิภาคย์ในการขยับหัวตรวจให้สามารถเห็นระนาบตัดขวางที่สำคัญอีกทั้งต้องใช้ความเข้าใจทางสรีรวิทยาในการสังเกตตามเกณฑ์คัดกรอง อย่างไรก็ตามหัวใจของทารกมีความถี่ของการเต้นสูง มีขนาดเล็ก ประกอบกับทารกในครรภ์จะอยู่ในท่าที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละครั้งของการตรวจ ดังนั้นการฝึกทักษะการตรวจคัดกรองจึงต้องอาศัยประสบการณ์และการฝึกหัด ซึ่งความซับซ้อนของการตรวจที่กล่าวถึงประกอบกับอุปสรรค์ทางเวลาและโอกาส ทำให้การพัฒนาทักษะของผู้ฝึกเป็นไปได้ช้า

ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาระบบจำลองการตรวจอัลตราซาวด์ทางการแพทย์แขนงอื่นๆ เพื่อนำมาใช้ในการช่วยเสริมสร้างประสบการณ์ และลดเวลาในการเรียนรู้ในการปฏิบัติจริง โดยประเด็นในการพัฒนาระบบจำลองต่างๆ จะมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับความต้องการของการใช้งาน เช่น การจำลองการตรวจหัวใจในผู้ใหญ่ (VIMEDIX, 2012; MedSim, 2012) การจำลองภาพอัลตราซาวด์เพื่อใช้ในการเรียนรู้และการปรึกษาทางไกล (Littlefield, Macedonia และ

Coleman, 1998) และการจำลองภาพอัลตราซาวด์เพื่อใช้ประกอบการผ่าตัด (Dillenseger, Laguitton และ Delabrousse, 2009) เป็นต้น สำหรับระบบจำลองเพื่อการศึกษาและฝึกหัดทักษะก็มีการปรับปรุงเลือกใช้วิธีการในกระบวนการจำลองการตรวจต่างๆ กัน ซึ่งระบบจำลองเหล่านี้จะมุ่งเน้นให้ผู้ฝึกสามารถฝึกตรวจและทบทวนพัฒนาทักษะได้โดยไม่จำเป็นต้องรบกวนคนไข้จริง (Shakil, Mahmood และ Matyal, 2012)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างระบบจำลอง ผู้วิจัยเล็งเห็นประเด็นการแก้ปัญหาที่สามารถนำมาใช้กับการฝึกตรวจหัวใจเด็ก เช่นการปรับปรุงและเพิ่มทางเลือกของการเตรียมกรณีฝึกหัด การลดต้นทุนชิ้นส่วนของระบบให้เป็นชิ้นส่วนเสมือนที่ทำความเข้าใจได้ภายในซอฟต์แวร์ และการออกแบบซอฟต์แวร์ที่สามารถทำงานได้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นต้น ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นจะช่วยเพิ่มโอกาสของการฝึกหัดและทบทวนจากการที่ผู้ฝึกสามารถเข้าถึงซอฟต์แวร์ได้ง่ายขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองระบบอัลตราซาวด์การตรวจหัวใจทารกในครรภ์ที่สอดคล้องกับการนำไปฝึกตรวจ และสามารถติดตั้งใช้ได้ในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หาได้ง่ายทั่วไป

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณลักษณะและความเป็นไปได้ของระบบจำลอง เพื่อนำใช้ในการออกแบบซอฟต์แวร์ร่วมกับการเก็บความต้องการพื้นฐานจากโรงพยาบาลในท้องถิ่น เพื่อให้มีความสอดคล้องกับการใช้งานในขั้นพื้นฐาน

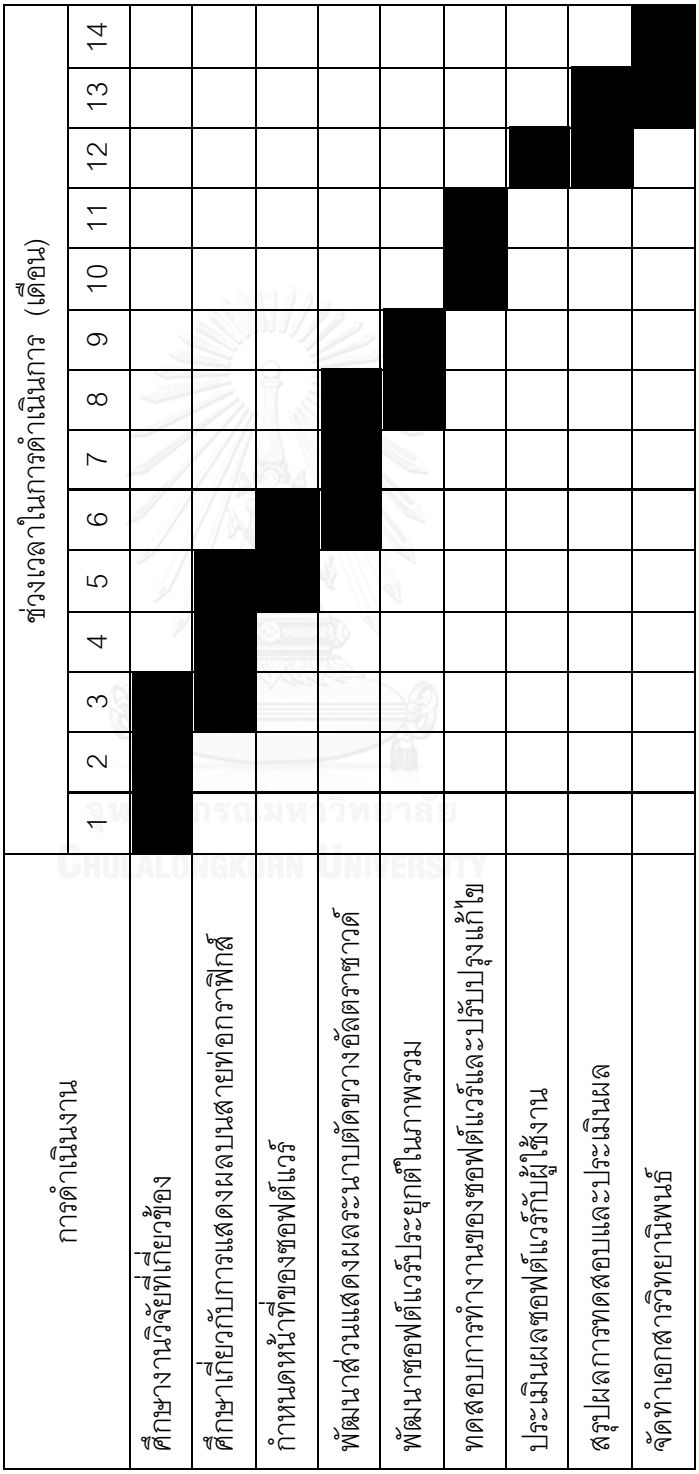
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

กำหนดแนวทางในการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อการฝึกหัดตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารก ที่เพิ่มโอกาสให้กับการฝึกหัด ทั้งในด้านต้นทุน และการเข้าถึงได้ง่าย เหมาะกับความต้องการของโรงพยาบาลในท้องถิ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานโดยสรุป

แผนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป แสดงดังในตาราง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวเริ่มต้นเกี่ยวกับการตรวจคัดกรองโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกในครรภ์ เพื่อทำความเข้าใจประเด็นหลักที่เราต้องการนำมาใช้ในการฝึกหัด ถัดมาจะปริทัศน์ระบบเพื่อใช้ในการฝึกหัดตรวจอัลตราซาวด์ด้วยซอฟต์แวร์เพื่อทำความเข้าใจถึงความก้าวหน้าในภาพรวมและระบุแนวทางที่มุ่งเน้นพัฒนา จากนั้นเราจะกล่าวถึงสายท่อกราฟิกส์เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานการแสดงผลสมรรถนะสูงของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบันเพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลภาพที่ใช้ในการโต้ตอบกับผู้ใช้แบบทันที และการแสดงผลระนาบตัดขวางจากข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติที่มีการนำสายท่อกราฟิกส์มาประยุกต์ใช้ และกล่าวถึงการถ่ายข้อมูลอัลตราซาวด์เพื่อเรียกอ่านจากสายท่อกราฟิกส์ สุดท้ายจะกล่าวถึงการจัดวางแบบโรโตทราสเลชั่นที่เป็นแบบจำลองการจัดวางวัตถุ มีรายละเอียดแบ่งเป็นบทย่อยๆ อันจะกล่าวต่อไป

2.1 อุปสรรคในการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารก และเกณฑ์ในการตรวจคัดโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกในครรภ์

ในการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์ หากคำนึงถึงทักษะที่ต้องใช้ในภาพรวมร่วมกับลักษณะของการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจของคนไข้ทั่วไปนั้น (พิบูลย์ ลีละพัฒนะ, 2004) จะเป็นการตรวจที่อาศัยการประมวลความรู้ทั้งทางกายวิภาคย์และสรีสระวิทยาของหัวใจและอวัยวะที่ล้อมรอบๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งระนาบตัดขวางที่จะใช้สังเกต ประกอบกับความรู้ทางเวชศาสตร์สำหรับการตรวจระวังและติดตามรักษาอาการผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น

เมื่อคำนึงถึงการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจสำหรับทารกในครรภ์ ก็จะมีลักษณะเฉพาะของทารกที่อยู่ภายในครรภ์ด้วยนั่นคือ หัวใจของทารกมีความถี่ของการเต้นสูง มีขนาดเล็ก ประกอบกับทารกในครรภ์จะอยู่ในท่าที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละครั้งของการตรวจฯ จึงเป็นทักษะการตรวจที่ต้องอาศัยประสบการณ์และการฝึกหัด จัดเป็นทักษะของสูติแพทย์ที่ได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ

(Tegnander และ Eik-Nes, 2006; Acherman และคณะ, 2007) นำไปสู่การกำหนดเกณฑ์การคัดกรอง (Eik-Nes และคณะ, 2006) เพื่อลดความซับซ้อนและความต้องการบุคคลากรในการตรวจ โดยละเอียดให้เป็นขั้นตอนรวมเข้าไปกับขั้นตอนประจำของการตรวจครรภ์ ระบุเอาไว้เป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการสังเกตภาพตัดขวางจากการตรวจหัวใจทารกที่สำคัญสี่ระนาบ ได้แก่ four-chamber, left outflow tract (LVOT), right outflow tract (RVOT), three-vessel view (3VV) ซึ่งจะมีการขยับหัวตรวจไปมาระหว่างระนาบสำคัญทั้งสี่ และจะต้องมีการสังเกตขนาดและการพาดวางกันของหลอดเลือด ลักษณะพัฒนาการของห้องหัวใจ ความถี่ในการเต้นของหัวใจ ซึ่งในการสร้างซอฟต์แวร์จำลองเพื่อการฝึกหัด เราอาจสรุปเป็นความต้องการพื้นฐานเพื่อการพัฒนาทักษะเป็นข้อๆ อย่างง่ายว่า

การขยับหัวตรวจ

1. จะต้องมีการเคลื่อนขยับหัวตรวจให้สัมพันธ์กับการนอนของทารกที่อยู่ในครรภ์มารดา

การสังเกตภาพตัดขวาง

2. จะต้องให้การสังเกตตำแหน่ง ขนาดและอัตราส่วน ขององค์ประกอบของหัวใจ
3. จะต้องมีการสังเกตการเคลื่อนไหวของผนังหัวใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 ปริทัศน์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการฝึกหัดตรวจอัลตราซาวด์

จากความซับซ้อนของการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในการตรวจโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดของทารกในครรภ์ที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.1 เนื่องจากการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจเป็นการปฏิบัติที่ต้องมีทักษะและความชำนาญ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการฝึกหัดปฏิบัติเกิดขึ้น จากบทวิจารณ์ผลิตภัณฑ์ฝึกหัดตรวจอัลตราซาวด์หัวใจในปัจจุบันของ Shakil และคณะ (2012) กล่าวถึงคุณลักษณะของการฝึกหัดว่า “ลักษณะของการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจเป็นการปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อน ระหว่างผู้ตรวจ อุปกรณ์ และร่างกายของคนไข้ โดยการสร้างทักษะและความชำนาญจะเกิดจากองค์ประกอบของการได้ลองปฏิบัติจริง ได้ทำซ้ำๆ และได้รับคำปรึกษาจากผู้อาวุโส” ดังนั้น

การฝึกตรวจฯ เพียงจากการตรวจกับคนไข้จริง หรือต้องรบกวนคนไข้ฝึกตรวจเป็นกรณีตามแบบดังเดิม จึงไม่เพียงพอเป็นข้อจำกัดทางโอกาสของการฝึกหัด อันนำไปสู่การสร้างและพัฒนาระบบจำลองเข้ามาใช้ในการฝึกหัดตลอดจนปัจจุบัน ที่จะเปิดโอกาสให้ผู้ฝึกได้ลองปฏิบัติและทำความคุ้นเคยจากระบบตรวจที่จำลองขึ้น ซึ่งนอกเหนือจากจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการพัฒนาทักษะและประสบการณ์ในการตรวจคนไข้จริง อันจัดเป็นข้อจำกัดทางโอกาสที่เป็นจำนวนเวลาแล้ว ยังเสริมโอกาสในการจัดการลำดับและความต่อเนื่องในการเรียนรู้กรณีศึกษาของโรคชนิดต่างๆ อย่างเป็นกิจจะลักษณะด้วย

เพื่อการวิจารณ์ระบบจำลองสำหรับการฝึกตรวจอัลตราซาวด์หัวใจของคนไข้ทั่วไป เราพอจะแบ่งคุณลักษณะสำคัญร่วมกันของระบบจำลองที่มีอยู่ ออกเป็นสามส่วนคือ แบบจำลองหัวใจคนไข้ การเคลื่อนขยับหัวตรวจ และการแสดงผลภาพตามระนาบตัดขวางของหัวตรวจจากแบบจำลองหัวใจ ซึ่งเป็นลักษณะร่วมที่มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้ฝึกหัดได้รับประสบการณ์เสมือนการตรวจ ที่เกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ BluePhantom™ (2012) ที่มีลักษณะคล้ายกับระบบจำลองทางการแพทย์ในตอนบุกเบิกคือ เป็นหุ่นคนไข้จำลองขึ้นใช้กับเครื่องตรวจจริง เน้นความถูกต้องของโครงสร้างทางกายวิภาคย์ที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่างๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติในการตอบสนองคลื่นเสียงอัลตราซาวด์และให้สัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อของมนุษย์เมื่อนำไปฝึกตรวจ แม้ว่าการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจจากหุ่นคนไข้จำลองที่ผลิตขึ้นจะสามารถให้คุณลักษณะการสะท้อนคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ที่ถูกต้อง แต่หุ่นที่จำลองขึ้นนั้นเป็นหุ่นที่นอนอยู่นิ่งๆ ขาดการเคลื่อนไหวของผนังหัวใจที่ต้องใช้ในการตรวจตามเกณฑ์การคัดกรอง ยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกเช่น HeartWorks (2012), MedSim (2012) และ VIMEDIX (2012) ที่มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ตรวจทำเลียนแบบอุปกรณ์จริงและมาพร้อมกับหุ่นคนไข้จำลองที่สร้างขึ้นเพียงผิวสัมผัสภายนอก แต่ทำการบันทึกแบบจำลองหัวใจคนไข้เป็นข้อมูลดิจิทัลและใช้หัวตรวจเทียมติดเซนเซอร์ (sensor) ในการตรวจจับการจัดวางสำหรับนำมาใช้จำลองการแสดงผลเป็นภาพตามระนาบตัดขวาง ข้อดีของแบบจำลองหัวใจดิจิทัลคือ เราสามารถเลือกเปิดบันทึกของแบบจำลอง ที่มีความผิดปกติต่างๆ กันขึ้นมาใช้ฝึกหัดด้วยระบบจำลองชุดเดิมได้ และมีการใช้ข้อมูลหัวใจที่มีความเคลื่อนไหวจากการ

เต้นของหัวใจแล้ว นอกจากนั้นอุปกรณ์ตรวจที่ทำเลียนขึ้น ยังมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะสำหรับใช้ในการฝึกหัดเช่น การบันทึกข้อมูลของการฝึกตรวจเพื่อนำมาใช้ติดตามเปรียบเทียบหรือใช้ในการปรึกษา (VIMEDIX, 2012) และการบันทึกทรีดีเซอร์เฟส (3D Surface) คู่กับข้อมูลแล้วนำมาใช้แสดงผลเป็นภาพประกอบที่เคลื่อนไหวตามภาพระนาบตัดขวางฯ เพื่อเสริมความเข้าใจ (Weidenbach และคณะ, 2000; Ford และคณะ, 2012) แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ยกตัวอย่างดังกล่าวจะสร้างลักษณะภายนอกเลียนแบบอุปกรณ์จริงขึ้นมา ตัวเลือกการจำหน่ายเพียงบางส่วนของระบบจำลองเชิงพาณิชย์ กับงานของ Kutarnia, Pedersen และ Yuan (2010) และการวิจารณ์ของ Shakil และคณะ (2012) ได้ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการย้ายส่วนประกอบของระบบจำลองให้อยู่ในขอบเขตของซอฟต์แวร์เช่น สร้างแผงควบคุมเครื่องมือขึ้นภายในส่วนติดต่อผู้ใช้งานกราฟิกส์ (Graphical User Interface), การควบคุมหัวตรวจที่จำลองเสมือนขึ้นด้วยเมาส์หรือคีย์บอร์ด และวิธีการประมวลผลที่ลดการใช้หน่วยประมวลผลเฉพาะ เป็นต้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดต้นทุนการผลิต และลดความยุ่งยากในการติดตั้งในสถานที่ใช้งาน อีกทั้งการที่ทำให้ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมจะทำให้สามารถแจกจ่ายซอฟต์แวร์ไปยังผู้ฝึกหัดได้อย่างแพร่หลายโดยสะดวก เพื่อให้สามารถนำซอฟต์แวร์จำลองการตรวจไปใช้ฝึกหัดและทบทวนเองได้ ซึ่งจากระบบจำลองที่กล่าวถึงมาทั้งหมดล้วนมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการในการเพิ่มโอกาสทางการฝึกหัด เราจึงสนใจแนวคิดการพัฒนาระบบจำลองในรูปแบบซอฟต์แวร์เป็นแนวคิดและขอบเขตตั้งต้นในภาพรวม

นอกจากนั้นแล้ว ในรายละเอียดของคุณลักษณะสามส่วนที่เกริ่นไว้ สำหรับการเคลื่อนขยับหัวตรวจ อย่างน้อยที่สุดซอฟต์แวร์ควรจะมีหัวตรวจจำลองขึ้นและมีการแสดงผลให้ผู้ใช้รับรู้ได้ มีรองรับการขยับพื้นฐานเช่นใช้เมาส์ และมีช่องทางในการพัฒนาให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หัวตรวจเทียมซึ่งเราอาจใช้หัวตรวจเทียมที่ใช้การตรวจจับการจับวางด้วยวิธีต่างๆ กันเช่นเดียวกับที่มีใช้ในระบบจำลองเชิงพาณิชย์ที่กล่าวถึง เช่น ใช้คลื่นแม่เหล็ก หรือใช้การตรวจจับการทำมุมของข้อต่อของ ชลทิตย์ ประทีปมโนวงศ์ (2556) เป็นต้น สำหรับส่วนแบบจำลองหัวใจและการแสดงผลภาพตามระนาบตัดขวางฯ ยังคงมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้

แบบจำลองหัวใจ มีคุณลักษณะและให้การแสดงผลที่ถูกใช้พิจารณาระหว่างการฝึกตรวจเสมือนกับการตรวจจริง โดยเราอาจจัดกลุ่มการสร้างแบบจำลองเป็นสามประเภท

ในประเภทแรกนั้น คือการนำเข้าข้อมูลมาจากเครื่องตรวจอัลตราซาวด์โดยตรง Aiger และ Cohen-Or (1998) นำข้อมูลขึ้นมาจากอุปกรณ์อัลตราซาวด์ เตรียมข้อมูลจากการบันทึกจากเครื่องตรวจฯ คำนึงถึงการแก้ปัญหาในการแสดงขนาดความละเอียดในระบบจำลองการตรวจด้วยการเลือกใช้ตัวกรอง (filtering) เพื่อให้เพื่อให้สามารถประมวลผลได้ในทันที ถัดมา Weidenbach และคณะ (2000) สนับสนุนความเป็นไปได้ในการแสดงผลด้วยระบบเร่งการแสดงผลของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Saracino และคณะ (2002) เสริมการแปลงตรงจากข้อมูลระบบพิกัดของหัวตรวจ (พิกัดเชิงมุมสามมิติ หรือพิกัดทรงกลม) ในทันที ซึ่งเดิมการแสดงผลในทันทีจะต้องใช้อุปกรณ์ประมวลผลเฉพาะทาง ซึ่งสามารถจัดเป็นประโยชน์ต่อการลดขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลของระบบฝึกหัด

ในประเภทที่สองคือ การแปลงมาจากข้อมูลประมาตรซีทีและเอมอาร์ไอ ในประเภทนี้ข้อมูลจะต้องมีการเตรียมด้วยการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองเนื้อเยื่อ จากนั้นจึงนำคุณลักษณะในแบบจำลองมาจำลองภาพตัดขวางอัลตราซาวด์ Dillenseger และคณะ (2009) แปลงข้อมูลจากปริมาตรซีที มีการจำลองภาพตัดขวางอัลตราซาวด์ที่ให้ความสว่างสอดคล้องกับภาพอัลตราซาวด์จริง มีการกล่าวเปรียบเทียบถึงลักษณะการจำลองภาพโดยการจำลองลักษณะการเดินทางของเสียงในตัวกลางซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ช้าหลายสิบชั่วโมง กับการใช้ความสัมพันธ์ที่เสนอขึ้นจากความสว่างที่ปรากฏกับพลังงานเสียงตั้งต้น โดยละเว้นลักษณะการกระจายตัวของคลื่นเสียงในการสะท้อน ซึ่งให้ผลลัพธ์ต่อภาพหนึ่งๆ ได้ในเวลาเพียงไม่กี่วินาที ซึ่ง Reichl และคณะ (2009) ออกแบบและประยุกต์ใช้การเร่งการแสดงผลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ให้สามารถผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูงได้ในทันที

ถัดมาประเภทสุดท้ายคือข้อมูลลักษณะพื้นผิวทรีดีเซอร์เฟส Weidenbach และคณะ (2000) ได้สร้างข้อมูลทรีดีเซอร์เฟสมาใช้ในการแสดงเป็นภาพประกอบคู่กับ ภาพตัดขวางอัลตรา

ซาวด์ เพื่อช่วยการเรียนรู้ในระบบฝึกหัด Kohn และคณะ (2004) สร้างแบบจำลองอธิบายส่วนประกอบของหัวใจขึ้นมา มีฐานข้อมูลองค์ความรู้ของหัวใจที่สามารถสลับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆ ของหัวใจเฉพาะส่วนเพื่อสร้างกรณีศึกษาต่างๆ อย่างไรก็ตามสำหรับการแสดงผลในลักษณะภาพตัดขวางอัลตราซาวด์ของแบบจำลอง มีการแสดงผลเฉพาะเส้นขอบของผนังหัวใจเท่านั้น Wright (2011) ใช้ข้อมูลทรีดีเซอร์เฟสลักษณะพิเศษที่มีการเพิ่มเติมคุณลักษณะส่วนตันด้วย มีการแสดงผลการเคลื่อนไหวของหัวใจได้ และถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ HeartWorks (2012) แล้วให้การแสดงผลข้อมูลที่เก็บในลักษณะทรีดีเซอร์เฟส ได้ใกล้เคียงกับภาพจริง

จากรายละเอียดของงานทั้งสามกลุ่มที่กล่าวมา สำหรับข้อมูลที่จะนำมาใช้งานในการฝึกหัดตรวจหัวใจทารกในครรภ์ที่เหมาะสม ควรจะต้องมีการพิจารณาถึงประเด็นในการฝึกที่สำคัญเฉพาะต่อการตรวจหัวใจทารกด้วย จากลักษณะของการสังเกตในเกณฑ์การคัดกรองที่เราสรุปไว้ในหัวข้อ 2.1 มีใจความสำคัญที่สามารถสรุปจากการตรวจว่า จะต้องสามารถสังเกตลักษณะรูปทรง และการเคลื่อนไหวได้ เนื่องด้วยข้อจำกัดการบันทึกภาพได้เพียงความถี่ต่ำของซีทีและเอ็มอาร์ไอ จึงไม่สามารถนำข้อมูลประเภทนี้เข้ามาใช้ในการบันทึกหัวใจที่มีความถี่สูงได้ แม้ว่า HeartWorks (2012) จะเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นผลของการพัฒนาการใช้ข้อมูลลักษณะพื้นผิวทรงตันที่ใกล้เคียงกับภาพจริง แต่การได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่ใช้ยึดเป็นข้อมูลตั้งต้นหนึ่งๆ จะต้องมีการเตรียมข้อมูลที่บันทึกตัวแปรตามแบบจำลองคุณลักษณะทางเสียงของเนื้อเยื่อซึ่งไม่สามารถจัดเตรียมได้โดยง่าย ดังนั้นการนำข้อมูลขึ้นมาจากอุปกรณ์อัลตราซาวด์โดยตรง จึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานได้โดยสะดวก ซึ่งในการพัฒนาต่อเติมนั่นจะต้องพัฒนาให้รองรับการใช้ข้อมูลสี่มิติมาแสดงผลให้เห็นความเคลื่อนไหวของหัวใจได้ตามที่ต้องใช้ในเกณฑ์ตรวจ ซึ่งเราจะพัฒนาให้ยังคงใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย

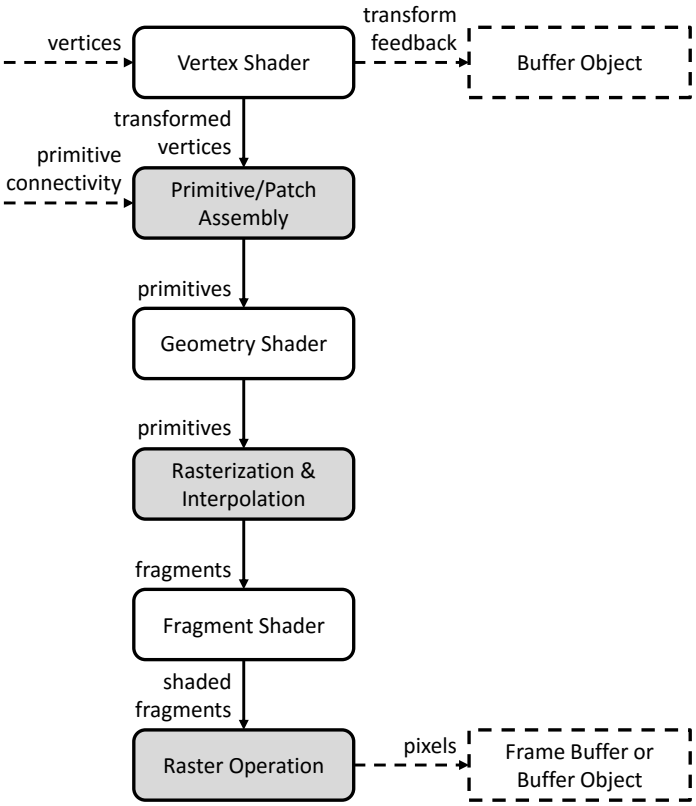
2.3 **สายท่อกราฟิกส์** (Graphics pipeline)

เนื่องจากในการประมวลการแสดงผลภาพตัดขวางอัลตราซาวด์จากข้อมูลปริมาตรที่ได้กล่าวถึงต่อไปมีความซับซ้อนของการคำนวณขึ้นกับจำนวนจุดภาพของกรอบแสดงผล และการแสดงผลในแต่ละจุดภาพ มีการคำนวณฟังก์ชันมูลฐานการหาค่าตรีโกณมิติ และการหารที่ใช้เวลามากหลายตำแหน่ง อีกทั้งการประมาณการเข้าถึงภาพด้วยตัวกรองทั้งสามมิติจะทำให้ต้องมีการประมวลผลสูงขึ้นในส่วนของการเข้าถึงข้อมูลเป็น 8 เท่าตัว ดังนั้นการประมวลผลด้วยซีพียูจึงไม่เพียงพอต่อการประมวลผลในทันที และทำให้มีการใช้อุปกรณ์ในการประมวลผลเฉพาะ (Kaufman และคณะ, 2000; Skehan, 2011) เพื่อให้สามารถใช้ประมวลผลภาพอัลตราซาวด์ได้ในทันที

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การแสดงผลบนอุปกรณ์เร่งการแสดงผลในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสมัยใหม่ ได้รับการปรับปรุงในระดับมาตรฐานอุตสาหกรรมให้มีความสามารถและสมรรถนะสูงเพียงพอต่อการนำมาใช้ในการประมวลผลทดแทนอุปกรณ์แสดงผลเฉพาะทาง โดยมีลักษณะการทำงานในลักษณะสายท่อกราฟิกส์ (Graphics pipeline) อันจะกล่าวถึงในรายละเอียดถัดไป และซอฟต์แวร์ส่วนประสานโปรแกรมประยุกต์ (API) สำหรับใช้ในการสั่งการอุปกรณ์ระดับล่างที่โปรแกรมเมอร์จะต้องทำความเข้าใจการทำงานของสายท่อกราฟิกส์เพื่อให้สามารถโปรแกรมการใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการโปรแกรมส่วนประสานโปรแกรมประยุกต์โอเพ็นจีแอลสาม (OpenGL 3) ซึ่งเป็นมาตรฐานเปิดของส่วนประสานโปรแกรมประยุกต์ของอุตสาหกรรมกราฟิกส์ประสิทธิภาพสูง (high performance graphic) สำหรับการแสดงผลแบบในทันที หรือเรลไทม์ (real-time) ด้วยสายท่อกราฟิกส์ในปัจจุบันที่นำมาใช้อ้างอิงในการออกแบบซอฟต์แวร์และการพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ต้นแบบของงานวิจัยชิ้นนี้ โดยจะกล่าวถึงเฉพาะความรู้ที่ใช้ในโปรแกรมโอเพ็นจีแอลสามภายในงาน

สายท่อกราฟิกส์เป็นชุดของกระบวนการที่ตายตัวบนข้อมูลเพื่อเป็นสถาปัตยกรรมพื้นฐานในการเร่งการประมวลผล การเร่งการประมวลผลบนสายท่อกราฟิกส์จะมีจุดเด่นในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากพร้อมๆ กันแบบหนึ่งคำสั่งต่อหลายข้อมูล (SIMD: Single Instruction, Multiple

Data) โดยกระบวนการที่ตายตัวนี้ จะทำงานขึ้นกับข้อมูลเรขาคณิตปฐมฐาน (geometric primitive) สามแบบเป็นข้อมูลนำเข้าหลักคือ เวอร์เท็กซ์หรือจุดยอด (vertex), เส้น (edges) และสามเหลี่ยม (triangles) ข้อมูลทั้งสามแบบจะใช้สำหรับอธิบายรูปทรงและส่งเข้าไปประมวลผลในอุปกรณ์เร่งการแสดงผลฯ นอกจากนี้แล้วยังมีข้อมูลลายพื้นผิว (texture) และข้อมูลยูนิฟอร์ม (uniform) ที่เป็นข้อมูลที่ส่งเข้าไปไปให้สามารถถูกเรียกอ่านได้จากโปรแกรมเชดเดอร์ (shader program) ที่จะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในสายท่อกราฟิกส์ โดยลักษณะของสายท่อกราฟิกส์ในโอเพ็นจีแอลสาม แบ่งเป็นลำดับขั้น (stage) ดังแสดงไว้ในภาพรวมโดยสรุปเป็นผังไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นและการส่งข้อมูลภายในสายท่อกราฟิกส์ของโอเพ่นจีแอลสาม

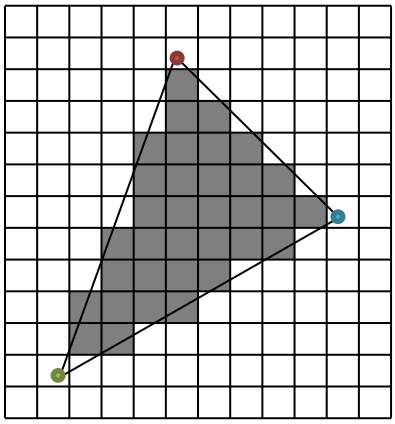
ลำดับขั้นในสายท่อกราฟิกส์ จะมีส่วนที่ต้องทำการเชื่อมโยงโปรแกรมเข้าไปคือส่วนของโปรแกรมเชดเดอร์ (shader program) โดยจะต้องการมีการเชื่อมโยงโปรแกรมเชดเดอร์ที่สมบูรณ์อย่างน้อยที่สุดสองโปรแกรมคือ เวอร์เท็กซ์เชดเดอร์ (vertex shader) และ แฟรกเมนต์เชดเดอร์ (fragment shader) เพื่อประกอบเป็นสายท่อกราฟิกส์ที่ประมวลผลข้อมูลได้ ในแต่ละลำดับขั้นจะ

มีการรับส่งข้อมูลกันเป็นทอดๆ ในรูปแบบที่ได้รับการประมวลผลต่างกันออกไปตามแต่ละขั้น จนกระทั่งได้เป็นข้อมูลจุดภาพ (pixel) ออกสู่จอภาพในที่สุด โปรแกรมจากหน่วยประมวลผลกลาง จะสามารถส่งข้อมูลสองประเภทเพื่อใช้อ่านได้จากโปรแกรมเชดเดอร์ในลักษณะสโคปส่วนรวม (global scope) คือข้อมูลยูนิฟอร์ม และข้อมูลเทกเจอร์ หรือลายพื้นผิว (texture) โดยที่ข้อมูลของยูนิฟอร์มโดยหลักแล้วจะเป็นข้อมูลเวกเตอร์ของทศนิยมจุดลอย และลายพื้นผิวจะเป็นข้อมูลแบบจุดภาพ โดยกระบวนการหลักในภาพรวมแล้ว โปรแกรมที่เรียกใช้จะต้องมีการส่งข้อมูลเข้าสู่สายท่อกราฟิกส์ เชื่อมโยงโปรแกรมเชดเดอร์ สั่งประมวลผล แล้วจึงนำผลลัพธ์ไปแสดงผลหรือนำข้อมูลที่ส่งออกวนเข้ามาใช้ในสายท่อกราฟิกส์ใหม่เป็นการสิ้นสุด สำหรับโปรแกรมเชดเดอร์ในซอฟต์แวร์จำลองการตรวจของงานนี้จะใช้เพียงเวอร์เท็กซ์เชดเดอร์และ แฟรกเมนต์เชดเดอร์ โดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในแต่ละลำดับขั้นดังกล่าวต่อไป

โดยหลักแล้วข้อมูลเวอร์เท็กซ์ซึ่งเป็นส่วนย่อยของข้อมูลเรขาคณิตปฐมฐาน จะเป็นตำแหน่งของจุด ซึ่งสามารถโปรแกรมเพื่อส่งข้อมูลผูกไว้กับเวอร์เท็กซ์แต่ละชิ้นเรียกว่า เวอร์เท็กซ์แอททริบิวต์ (attribute) เดิมทีในโอเพ่นจีแอลรุ่นก่อนหน้า จะมีแอททริบบิวต์ที่แยกไว้เฉพาะสำหรับสี, ทิศทางมุมฉาก (normal) และตำแหน่งอ้างอิงลายพื้นผิว เป็นต้น แต่ในรุ่นที่สามเป็นต้นมาได้ปรับให้ใช้ทั่วไปได้ (generalize) ทั้งหมด โดยข้อมูลหลักจะเป็นข้อมูลทศนิยมจุดลอย 2 - 4 ค่า ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลแรกที่ได้รับการประมวลผลในสายท่อกราฟิกส์ในลำดับขั้นเวอร์เท็กซ์เชดเดอร์ หน้าที่หลักของการประมวลผลในขั้นตอนนี้คือการแปลงตำแหน่งของเวอร์เท็กซ์ และการคำนวณค่าแอทริบิวต์ของเวอร์เท็กซ์ที่เก็บไว้เป็นผลลัพธ์ต่อเวอร์เท็กซ์ โดยอย่างน้อยจะต้องส่งต่อค่าตำแหน่งของเวอร์เท็กซ์ต่อไปในสายท่อกราฟิกส์ ยกตัวอย่างการคำนวณในลำดับขั้นนี้ที่นิยมโปรแกรมกันแพร่หลายเช่น การแปลงโปรเจ็กต์ชันของกล้องเสมือน (การตำแหน่งในลักษณะการฉายตำแหน่งรูปกรวยพิระมิตที่ถูกตัดยอดออกให้ตกลงบนระนาบสองมิติในการระบุตำแหน่งการแสดงผลต่อผู้ใช้บนจอภาพ) และคำนวณการสะท้อนของแสงตกกระทบ ณ เวอร์เท็กซ์แต่ละจุดจากข้อมูลตำแหน่งของจุดกับข้อมูลทิศทางมุมฉากที่แนบมากับเวอร์เท็กซ์แอททริบิวต์ และข้อมูลตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งเข้ามาเป็นข้อมูลยูนิฟอร์ม

ถัดมาในลำดับขั้นเชื่อมโยงข้อมูลปฐมฐาน (primitive assembly) ในขั้นตอนนี้จะรับข้อมูลที่ซอฟต์แวร์ฯ ส่งข้อมูลการเชื่อมโยงเรขาคณิตปฐมฐานแต่ละชิ้นมาใช้สำหรับเชื่อมโยงข้อมูลเวอร์เท็กซ์ที่ได้รับการแปลงจากขั้นตอนที่แล้วเพื่อประกอบขึ้นเป็นสามเหลี่ยมก่อนที่จะส่งเข้าสู่ลำดับขั้นจีโอเมทรีเชดเดอร์ (geometry shader) ซึ่งเป็นโปรแกรมเชดเดอร์ที่มีหน้าที่หลักเพื่อใช้แก้ไขความสัมพันธ์ของข้อมูลปฐมฐาน ซึ่งในซอฟต์แวร์ฯ ของงานชิ้นนี้ไม่ได้ทำการโปรแกรมเกี่ยวข้องในส่วนนี้ เมื่อไม่ได้ทำการเชื่อมโยงโปรแกรมเชดเดอร์นี้เข้าในสายท่อกราฟิกส์ ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังลำดับขั้นต่อไปโดยไม่ได้รับการแก้ไขใดๆ

จากนั้นข้อมูลปฐมฐานจะเข้าสู่ลำดับขั้นแรสเตอไรเซชั่นหรือกระบวนการสร้างจุดภาพ (rasterization) ซึ่งเป็นการกำหนดเซตของข้อมูลของจุดภาพที่ใช้แสดงผลจากข้อมูลปฐมฐานดังรูปที่ 2.2 และจะมีการทำการประมาณค่าตำแหน่งและค่าที่เวอร์เท็กซ์แอททริบิวต์ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางสามเหลี่ยมหรือเส้นแนบไปในข้อมูลจุดภาพด้วย โดยหลักแล้วจะเป็นการประมาณค่าเชิงเส้นระหว่างข้อมูลของเวอร์เทกซ์หนึ่งถึงสามจุดของปฐมฐานชิ้นนั้น ซึ่งเซตดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลจุดที่จะนำไปใช้ในประมวลผลจุดภาพในลำดับขั้นต่อไป



รูปที่ 2.2 การกำหนดจุดภาพในลำดับขั้นแรสเตอร์ไรเซชัน

เมื่อเซตข้อมูลของจุดภาพถูกส่งผ่านมายังลำดับขั้นแฟรกเมนต์เชดเดอร์ หน้าที่หลักของลำดับขั้นนี้คือการประมวลผลข้อมูลจุดภาพให้ได้มาซึ่งภาพในระนาบสองมิติ ในการโปรแกรมเชดเดอร์ในลำดับขั้นนี้จะต้องเลือกที่ส่งต่อข้อมูลไปยังขั้นตอนต่อไป หรือยกเลิกการส่งออกข้อมูลซึ่งจะ

ให้ผลเป็นจุดภาพว่างเปล่า ในการส่งข้อมูลต่อไปนั้นจะต้องทำการคำนวณเพื่อส่งออกโดยการใช้งานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการแสดงผล จะใช้ในการส่งออกค่าสีของภาพ ซึ่งอาจเป็นค่าจำนวน 1 – 4 จำนวนแสดงถึงข้อมูลระดับสององค์ประกอบเดี่ยวเช่นข้อมูลระดับสีเทา หรือหลายองค์ประกอบ เช่น ระดับสีอาร์จีบีเอ (RGBA) (แดงเขียวน้ำเงินความโปร่งใส) แต่อาจบันทึกเป็นข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่สีเพื่อส่งออกผลลัพธ์ที่ไม่ได้ใช้สำหรับการแสดงผลโดยตรงหรือโปรแกรมให้ปลายทางของสายท่อกราฟิกส์นำย้อนกลับไปประมวลผลซ้ำในการเรียกใช้สายท่อกราฟิกส์ครั้งอื่นต่อได้ สำหรับการโปรแกรมซอฟต์แวร์ฯ ของงานชิ้นนี้จะใช้เพื่อส่งออกโดยตรง

ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งออกจะเป็นการประมวลผลขั้นตอนหลังสุด โดยจะเป็นการประมวลผลด้วยชุดคำสั่งที่จัดเตรียมไว้สำหรับการประมวลจุดภาพกับภาพหลายๆ ภาพ ยกตัวอย่างเช่นการเฉลี่ยสีกับภาพอื่นๆ หรือการคัดกรองจุดภาพในบางบริเวณด้วยภาพหน้ากาก (การทำแมสกิ้ง) (masking) ซึ่งการโปรแกรมซอฟต์แวร์ฯ ในงานชิ้นนี้จะไม่ได้โปรแกรมในส่วนนี้เช่นกัน ข้อมูลจะถูกส่งออกไปยังปลายทางที่กำหนด โดยอาจเก็บไว้ในระบบจัดการหน่วยความจำ (วัตถุบัฟเฟอร์) (Buffer Object) ของโอเพ็นจีแอลเพื่อให้เรียกใช้ได้อย่างรวดเร็วหรือส่งออกไปในหน่วยความจำแสดงผลบนจอภาพทางเฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer)

จากความรู้เกี่ยวกับสายท่อกราฟิกส์ที่กล่าวมาทั้งหมด เป็นภาพรวมของความรู้สายท่อกราฟิกส์ที่ใช้ในการโปรแกรมซอฟต์แวร์ฯ ในงานชิ้นนี้ เพื่อใช้ในการทำความเข้าใจแนวคิดของเนื้อหาภายในเล่มต่อไป ในรายละเอียดของการโปรแกรมโอเพ็นจีแอลและการเรียกใช้คำสั่งจริงจะต้องอ้างอิงจากแหล่งเนื้อหาการโปรแกรมโอเพ็นจีแอลโดยผู้เขียนทำการศึกษาจากหนังสือ OpenGL SuperBible (Wright และคณะ, 2010) และเอกสารทางการของมาตรฐานโอเพ็นจีแอลสามจากเว็บไซต์ http://www.opengl.org/documentation/

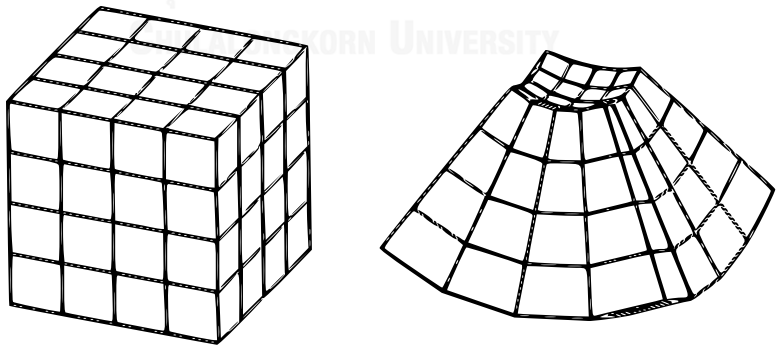
2.4 การแสดงผลระนาบตัดขวางจากข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติ

การจับภาพอัลตราซาวด์ เปิดโอกาสต่อการวินิจฉัยภายในที่มีประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นการตรวจที่ใช้การตรวจสอบจากคลื่นเสียงความถี่สูงอ่อนๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อ

ร่างกาย ประเด็นสำคัญอย่างหนึ่งของการจับภาพอัลตราซาวด์ที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการจับภาพหัวใจทารกคือ อุปกรณ์จับภาพอัลตราซาวด์ในปัจจุบัน สามารถจับภาพปริมาตรสามมิติหัวใจที่มีขนาดเล็กได้ในทันที ทำให้สามารถนำมาใช้สังเกตความเคลื่อนไหวทางกายภาพของหัวใจที่เต้นด้วยความถี่สูงได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นจุดเด่นในทางตรงกันข้ามการใช้วิธีการจับภาพภายในแบบซีทีและเอ็มอาร์ไอ

การแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์จากข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติ จัดเป็นประเด็นหลักที่มีความสำคัญต่อการจำลองการตรวจอัลตราซาวด์เพื่อการฝึกหัด ด้วยประโยชน์คือข้อมูลอัลตราซาวด์เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นจุดภาพเชิงปริมาตร (voxel) ที่จับภาพขึ้นมาจากการตรวจจริง ผู้พัฒนาการฝึกหัด (เช่นนายแพทย์) สามารถเลือกจับภาพอวัยวะจริงต่างๆ ที่มีความหลากหลายทางกายภาพของอาการ มาใช้ในการฝึกตรวจได้โดยตรง

ข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติมีลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งคือ ข้อมูลจุดภาพเชิงปริมาตร แต่ละหน่วยจะไม่ได้ตีความว่าเป็นข้อมูลที่แทนอวัยวะในระยะห่างเท่าๆ กันทั้งสามมิติแบบตารางคาร์ทีเซียน แต่จะบันทึกในลักษณะเป็นส่วนของทรงกลมดังรูปที่ 2.3 อันจะกล่าวถึงในรายละเอียดอีกครั้งหนึ่ง



Cartesian grid Spherical grid

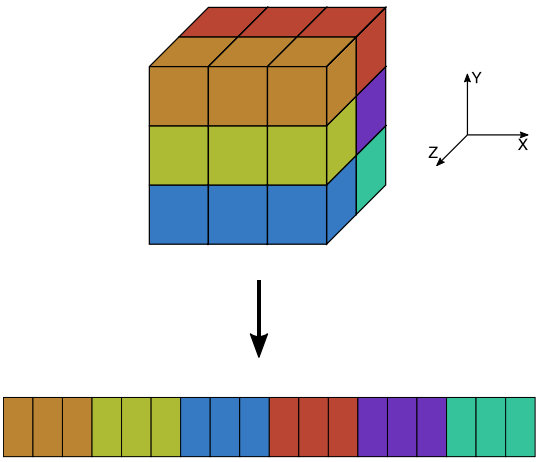
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบตารางแบบคาร์ทีเซียน และตารางแบบส่วนของทรงกลม

เดิมในตอนต้น ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Aiger และ Cohen-Or (1998) และของ Weidenbach และคณะ (2000) ได้ระบุความสัมพันธ์ของระนาบตัดขวางกับปริมาตรอัลตราซาวด์

ขึ้นใช้สำหรับการแสดงผลเพื่อการฝึกหัดในระบบฝึกหัดต้นแบบด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพนเทียม (Pentium PC) อย่างไรก็ตามระบบฝึกหัดดังกล่าวละเลยลักษณะข้อมูลที่เป็นแบบส่วนของทรงกลม ซึ่งการตรวจหัวใจเด็ก จะต้องทำการสังเกตภาพระนาบตัดขวางเพื่อคำนึงถึงอัตราส่วนทางกายภาพเป็นส่วนสำคัญด้วย จึงควรมีการคำนึงถึงลักษณะส่วนของทรงกลมนี้

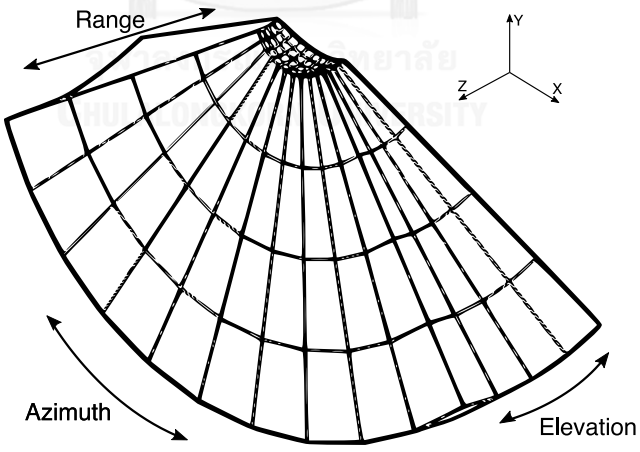
ถัดมาการคำนึงถึงลักษณะส่วนของทรงกลมนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นและถูกใช้งานดังเช่นที่เสนอขึ้นในงานวิจัยของ Saracino และคณะ (2002) และด้วยความก้าวหน้าของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีติดตั้งใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงมีการนำไปพัฒนาใช้ต่อบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ด้วยโปรแกรมแฟรกเมนต์เชดเดอร์ในสายท่อกราฟิกส์ (Bredthauer และ von Ramm, 2004; Kuo และคณะ, 2007) โดยจุดเด่นของการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์คือมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาต่อเติมไปใช้สำหรับการแสดงผลแบบอื่นอีก เช่นการแสดงผลแบบปริมาตร (Volumetic Rendering) ที่ไม่อาจทำได้แบบทันทีบนหน่วยประมวลกลางของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน โดยจุดเด่นนี้สืบเนื่องมาจากแนวคิดคร่าวๆ คือสถาปัตยกรรมที่มีความซับซ้อนต่อความอิสระของโปรแกรมน้อยกว่า (โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการแสดงผล) เป็นหน่วยประมวลผลที่สามารถนำมาผลิตเพื่อการประมวลผลแบบคู่ขนานได้ในราคาถูกกว่าหน่วยประมวลผลกลาง ในงานวิจัยนี้เราจะกล่าวถึงการสร้างระนาบตัดขวางที่สอดคล้องกับการโปรแกรมบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์นี้

โดยปกติของข้อมูลภาพปริมาตร รวมถึงข้อมูลอัลตราซาวด์ จะเป็นข้อมูลที่สามารถถูกแปลงหรือตีความให้จัดเรียงกันเป็นเป็นอาร์เรย์สามมิติ (เปรียบเหมือนตามระยะสามมิติที่ทำความเข้าใจในจักรวาลกายภาพ) ซึ่งข้อมูลแต่ละจุดภาพถูกบันทึกเป็นแถวเดียวเรียงต่อเนื่องกันอย่างมีการลำดับความต่อเนื่องของแต่ละมิติ สำหรับการทำความเข้าใจในวิทยานิพนธ์นี้ยึดให้แถวตามแกน X ต่อเนื่องกันเป็นหลัก จากนั้นจึงเรียงตาม Y และ Z ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การบันทึกข้อมูลของอาร์เรย์สามมิติเป็นแถวเดียว

ในการศึกษาเกี่ยวกับการแสดงผลของอัลตราซาวด์ มีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจในลักษณะเฉพาะของข้อมูลอัลตราซาวด์ เนื่องจากข้อมูลอัลตราซาวด์จะเป็นข้อมูลที่เป็นรูปแบบทรงกลมที่มีการดัดแปลง (Sumanaweera, 2004; Kuo และคณะ, 2007) ตามรูปที่ 2.5 ที่ระบุระยะพิกัดแบบดัดแปลงจากระยะพิกัดทรงกลม ซึ่งสามารถแปลงจากระยะพิกัดแบบคาร์ทีเซียน เป็นระยะพิกัดทรงกลมแบบดัดแปลง ตามสมการที่ 2.1

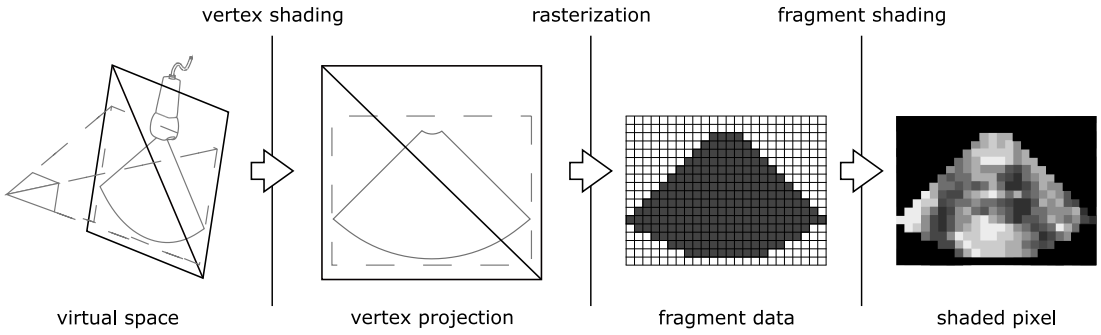


รูปที่ 2.5 ระยะพิกัดอัลตราซาวด์ที่มีลักษณะเป็นรูปแบบทรงกลมที่มีการดัดแปลง

$$ultrasoundCoordinate(r,a,e) = \begin{bmatrix} r \\ a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x^2+y^2+z^2} \\ \text{atan}(x/y) \\ \text{atan}(z/y) \end{bmatrix} \quad \textit{สมการที่ 2.1}$$

จากสมการ สัญลักษณ์ r, a, e หมายถึงระยะห่างจากจุดกำเนิด, มุมอะซิมุท และมุมยก ตามลำดับ โปรดทำความเข้าใจว่า ระยะพิกัดแบบดังแปลงดังกล่าวไม่เหมือนระยะพิกัดทรงกลมตรงที่ ระยะพิกัดแบบดัดแปลงนี้ถือแกนหลักสมมาตรดิ่งออกจากหัวตรวจ ที่ใช้เป็นมุมอะซิมุทและมุมยก แทนมุมเซต้าร์และมุมฟายของระยะพิกัดทรงกลมแบบดั้งเดิม นอกจากนั้นการเข้าถึงอาร์เรย์สามมิติของอัลตราซาวด์จะต้องมีการระบุพารามิเตอร์ของกรวย กำกับเพื่อใช้ในการตีความข้อมูลด้วย คือ ระยะห่างเริ่มต้น ระยะห่างสิ้นสุด ขนาดสิ้นสุดของมุมอะซิมุท และขนาดสิ้นสุดของมุมยก

การแสดงผลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์นั้น เช่นเดียวกันกับในรายงานของ Kuo และคณะ (2007) และของ Sumanaweera (2004) ในการแสดงผลบนสายท่อกราฟิกส์จะใช้วิธีการกำหนดระนาบครอบพื้นที่ของระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ในปริภูมิยูคลิด เรียกว่าพร็อกซีเรขาคณิต (geometry proxy) ใช้สร้างขึ้นด้วยสามเหลี่ยมสามเหลี่ยมปฐมฐานที่ระบุตำแหน่งสามมิติของแต่ละจุดยอดในปริภูมิไว้ในแต่ละจุด ให้ถูกประมวลผลตามลำดับขั้นในสายท่อกราฟิกส์เป็นพิกัดที่ใช้ระบุตำแหน่งสามมิติในลำดับขั้นแฟรกเมนต์เชดเดอร์ จากนั้นในลำดับขั้นนี้จึงทำการประมวลผลเพื่อเข้าถึงข้อมูลจากปริมาตรอัลตราซาวด์ดังแสดงไว้เป็นขั้นตอนโดยรวมในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ภาพรวมลักษณะการสร้างจุดภาพ
เพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ที่เกิดขึ้นในสายท่อกราฟิกส์

นอกจากนั้นแล้ว เนื่องจากตำแหน่งสามมิติที่ใช้ในการประมวลผลในลำดับขั้นแฟรกเมนต์เชดเดอร์ ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดภาพเชิงปริมาตรแบบหนึ่งต่อหนึ่ง จึงทำการประมาณค่าระหว่างจุดภาพเช่นการเฉลี่ยข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนักระหว่างจุดภาพเชิงเส้น (linear filtering) เพื่อหลีกเลี่ยงรอยหยัก (aliasing) ในการแสดงผลข้อมูล

2.5 การถ่ายโครงสร้างข้อมูลประเภทเอ็นดีอาร์เรย์ (ndarray) สู่สายท่อกราฟิกส์

ข้อมูลเทกเจอร์ (texture) จัดเป็นข้อมูลเพียงรูปแบบเดียวที่สามารถอ่านแบบสุ่มได้จากโปรแกรมเชดเดอร์ ลักษณะสถาปัตยกรรมของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในปัจจุบันมีข้อจำกัดที่ทำให้การประยุกต์ใช้โครงสร้างข้อมูลอาร์เรย์ที่มีจำนวนมิติต่างๆ หรือเอ็นดีอาร์เรย์ (ndarray) สำหรับจุดภาพมีความซับซ้อน เนื่องจากข้อมูลเทกเจอร์จะมีรูปแบบพื้นฐานเป็นเพียงตารางมิติสามแบบและขนาดมีการจำกัดขนาด ดังเช่นขนาดของเทกเจอร์ที่รองรับขั้นต่ำโดยมาตรฐานโอเพ่นจีแอลสาม (Segal และคณะ, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเทกเจอร์รูปแบบสองมิติ จัดเป็นเทกเจอร์ที่ได้รับการรองรับที่ดีที่สุดเนื่องจากเป็นข้อมูลลักษณะภาพหลักที่นิยมใช้ในการแสดงผลแบบเรลไทม์ และใช้หน่วยบันทึกภาพการแสดงผลในการเก็บข้อมูลที่เป็นสองมิติเช่นกันได้โดยตรง ดังนั้นการเข้าถึงข้อมูลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์โดยการใช้ข้อมูลเทกเจอร์รูปแบบสองมิติจึงเป็นทางเลือกที่ให้อิสระในการประยุกต์ใช้มากที่สุด (Lefohn, Kniss และ Owens, 2005)

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลปริมาณจุดภาพที่รองรับขั้นต่ำของเทกเจอร์สามรูปแบบตามมาตรฐานของโอเพ่นจีแอลสาม

รูปแบบเทกเจอร์	ปริมาณจุดภาพขั้นต่ำในแต่ละมิติ
TEXTURE_1D และ TEXTURE_2D	1,024
TEXTURE_3D	256

แม้ว่าปริมาณจุดภาพขั้นต่ำที่รองรับโดยมาตรฐานสำหรับเทกเจอร์สองมิติจะกำหนดไว้เพียง 1,024 จุดภาพ จากข้อมูลของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ผลิตโดยผู้ผลิตรายใหญ่ในตลาดในปี 2008 เป็นต้นมา (บริษัท Nvidia, Intel และ ATI) กำหนดไว้สูงถึง 8,192 จุดภาพ (Freeman และคณะ, 2009; Taylor, 2014; T4CFantasy, 2014)

เนื่องจากข้อจำกัดของรูปแบบเทกเจอร์ซึ่งไม่ได้รองรับข้อมูลแบบสี่มิติที่เป็นข้อมูลอัลตราซาวด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การถ่ายโอนและเข้าถึงข้อมูลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สามารถทำได้อย่างตรงไปตรงมาโดยการแปลงตำแหน่งอ้างอิงข้อมูลในหน่วยความจำ โดยรายละเอียดคือ การแปลงตำแหน่งเรียงข้อมูลของเอ็นดีอาร์เรย์ใดๆ เป็นสองมิติเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเข้าสู่สายท่อกราฟิกส์ด้วยข้อมูลแบบเทกเจอร์สองมิติ และทำการเข้าถึงข้อมูลในเทกเจอร์จากในสายท่อกราฟิกส์ด้วยการแปลงตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงบนเทกเจอร์ที่เป็นสองมิติอีกทีหนึ่ง นอกจากนั้น ในกรณีที่ข้อมูลไม่สามารถบรรจุได้ลงบนเทกเจอร์สองมิติเนื่องจากปริมาณจุดภาพที่รองรับไม่เพียงพอ เราสามารถแก้ปัญหาด้วยการบรรจุข้อมูลลงในเทกเจอร์สองมิติหลายๆ ชิ้นโดยมาตรฐานโอเพ่นจีแอลสามกำหนดให้สามารถเข้าถึงเทกเจอร์พร้อมๆ กันด้วยปริมาณขั้นต่ำ 16 ชิ้น นั้นหมายความว่าเราจะสามารถอัพโหลดข้อมูลจุดภาพเข้าสู่สายท่อกราฟิกส์เพื่อใช้เรียกอ่านได้เป็นเพดานที่สูงกว่า $8{,}192^2 \times 16$ จุดภาพ หรือ 1,074 ล้านจุดภาพ พร้อมๆ กัน

2.6 การจัดวางโรโตทรานสเลชั่น (roto-translation)

ตามที่ได้กล่าวไปถึงใน 2.1 เกี่ยวกับการขยับหัวตรวจไปยังตำแหน่งระนาบตัดขวางหัวใจทารกตามเกณฑ์คัดกรองนั้น กล่าวโดยเจาะจงคือ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างหัวใจทารกและหัวตรวจที่เกิดจาก “การจัดวางวัตถุ” เรามีความจำเป็นที่จะต้องมีแบบจำลองการจัดวางนี้ เพื่อใช้ในการจำลองการจัดวางวัตถุในซอฟต์แวร์จำลองการตรวจ หมายเหตุว่าสำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเพียงการจัดวางวัตถุแข็งเกรง นั่นคือวัตถุที่ระยะห่างระหว่างสองจุดใดๆ ในวัตถุมีค่าคงที่เสมอ

พิจารณาแบบปริภูมิแบบยุคลิดสามมิติ เราสามารถระบุจุดบนวัตถุแข็งเกร็งใดๆ ด้วยอันดับคาร์ทีเซียน (x,y,z) เป็นอันดับคาร์ทีเซียน แทนจุดสัมพัทธ์กับจุดกำเนิด (0,0,0) ในปริภูมิดังกล่าว ซึ่งเราสามารถจัดวางวัตถุแข็งเกร็งนี้แบบหกองศาเสรีได้ด้วยผลคูณของ อันดับโฮโมจิเนียส (x,y,z,1) กับเมตริกการแปลงแข็งเกร็งที่เหมาะสม (proper rigid transformation) หรือเรียกในอีกชื่อหนึ่งคือ เมตริกโรโตทรานสเลชั่น (roto-translation matrix) ที่เป็นการแปลงที่

ประกอบด้วยการหมุน (rotate) และการย้ายเลื่อนขนาน (translate) ตามลำดับ ซึ่งเราสามารถอธิบายการจัดวาง จากพารามิเตอร์ของการแปลงนี้ ดังสมการต่อไปนี้

$$R(\omega,\theta,\varphi) = R_z(\omega)R_y(\theta)R_x(\varphi)$$
$$= \begin{bmatrix} c_\theta c_\omega & c_\varphi s_\omega + s_\varphi s_\theta c_\omega & s_\varphi s_\omega - c_\varphi s_\theta c_\omega & 0 \\ -c_\theta s_\omega & c_\varphi c_\omega - s_\varphi s_\theta s_\omega & s_\varphi c_\omega + c_\varphi s_\theta s_\omega & 0 \\ s_\theta & -s_\varphi c_\theta & c_\varphi c_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \textit{สมการที่ 2.2}$$

$$T(t_x,t_y,t_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \textit{สมการที่ 2.3}$$

$$v' = T \times R \times v \quad \textit{สมการที่ 2.4}$$

ในสมการที่ 2.2 $R(\omega,\theta,\varphi)$ อธิบายเมตริกแปลงการหมุนรอบแกนในสามมิติที่เกิดจากเมตริกการแปลงประกอบ $R_z(\omega)R_y(\theta)R_x(\varphi)$ ที่อธิบายการหมุนตามแกน x, y และ z ด้วยมุม φ, θ และ ω ตามลำดับ s หมายถึง $sine$ และ c หมายถึง $cosine$ ถัดมาในสมการที่ 2.3 $T(t_x,t_y,t_z)$ อธิบายเมตริกการแปลงการเลื่อนขนาน และในสมการที่ 2.4 สัญลักษณ์ v หมายถึงอันดับโฮโมจิเนียสที่จะทำการแปลง และสัญลักษณ์ v'ที่ผ่านการแปลงแล้วจากการแปลงการหมุน $R(\omega,\theta,\varphi)$ และแปลงการเลื่อนขนานตามลำดับ

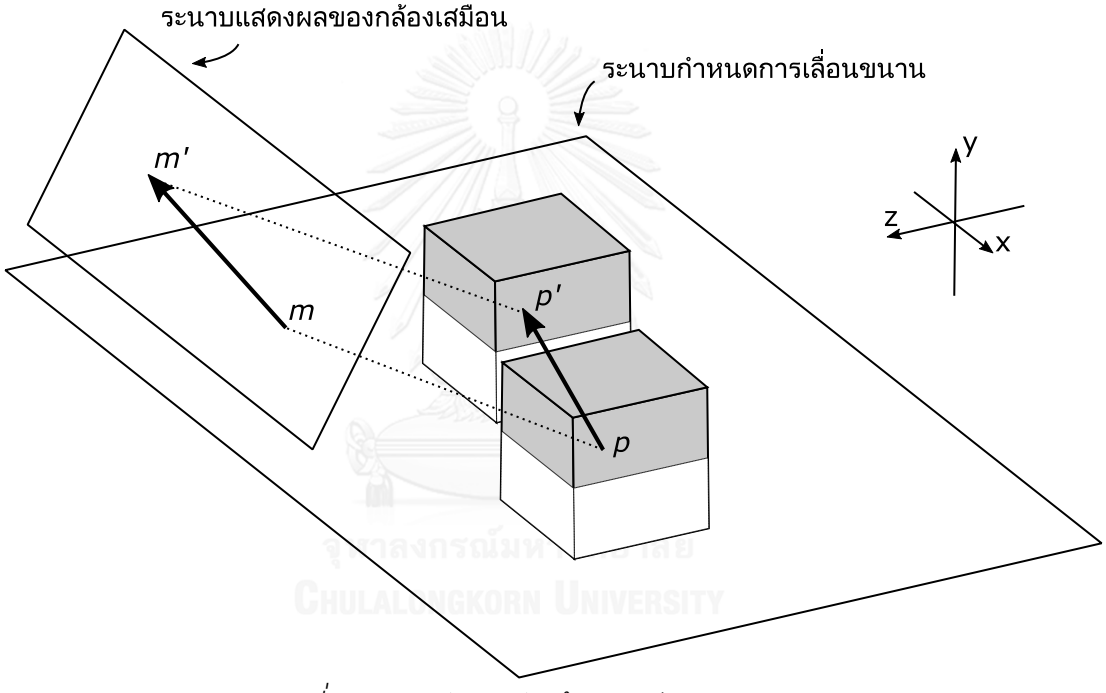
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 การจัดวางวัตถุในภาพแสดงปริภูมิสามมิติด้วยเมาส์

การจัดวางวัตถุเป็นหนึ่งในกิริยาที่มนุษย์ใช้กับวัตถุรอบๆ ตัวในกายภาพ และเป็นคุณลักษณะที่จำเป็นในการโต้ตอบกับโลกเสมือนที่งานวิจัยนี้จะมีการจำลองการจัดวางวัตถุที่เป็นความสัมพันธ์หลักระหว่างหัวใจทารก และหัวตรวจขึ้น

จากการวิเคราะห์การออกแบบการจัดการวัตถุของ Bowman และคณะ (2004) เรียกการจัดวางนี้ว่าการจัดวางโดยตรง (direct manipulation) แบ่งการออกแบบออกเป็นสองวิธีคือ การออกแบบโดยวิเคราะห์การจัดการที่เจาะจงลักษณะเฉพาะ และการออกแบบเพื่อการจัดการวัตถุโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้สนใจการจัดวางวัตถุโดยทั่วไป ซึ่ง Bowman และคณะจำกัดความการ

จัดการนี้เป็นการจัดวางวัตถุแข็งเกร็งที่คำนึงถึงตำแหน่งและทิศทาง เช่นเดียวกับการจัดวางโรโตทรานสเลชั่นที่งานวิจัยนี้ใช้ในการจำลองการจัดวางวัตถุ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะยึดการจัดวางพื้นฐานที่ใช้เมาส์ในการจัดวางวัตถุในปริภูมิสามมิติในจอภาพ ที่เลือกใช้และชี้แจงในรายละเอียดโดย Katic (2009) กล่าวอ้างว่าการจัดวางสามมิติด้วยเมาส์จะพึ่งพาวัตถุจำลองที่สร้างขึ้นมาใช้เพื่อการจัดวางวัตถุสามมิติ เช่นระนาบที่ใช้ในการกำหนดการเลื่อนขนาน และวัตถุทรงกลมที่ใช้ในการหมุน ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการจัดวางตำแหน่งและทิศทาง มีรายละเอียดขั้นตอนของการจัดวางวัตถุดังอธิบายประกอบกับการจัดวางตามระนาบ xz ในรูปที่ 2.7 คือ



รูปที่ 2.7 การจัดวางวัตถุด้วยเมาส์ตามระนาบ xz

1. กำหนดระนาบสำหรับใช้อ้างอิงตำแหน่งการเลื่อนขนานของเมาส์ในสามมิติ (เพื่อแปลงตำแหน่งเมาส์จากสองมิติ)

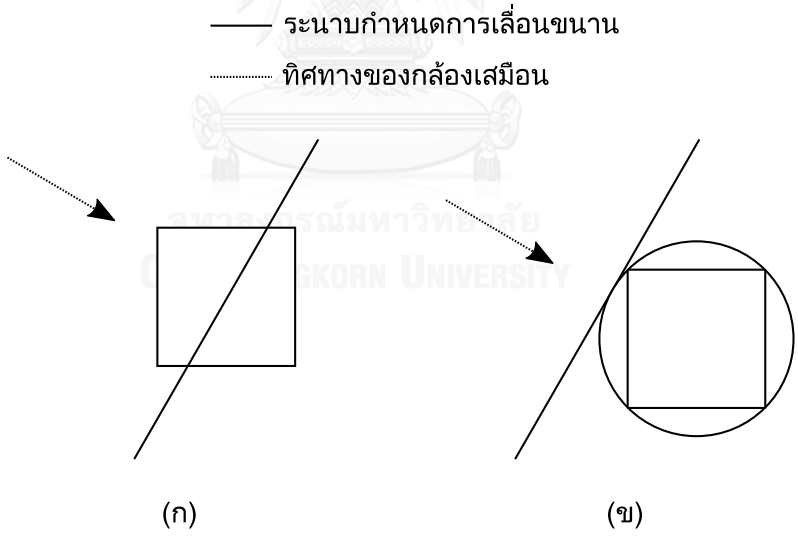
2. คำนวณรังสีจากตำแหน่งของเมาส์สู่ปริภูมิจำลอง โดยกำหนดให้จุดกำเนิด m อยู่ที่ตำแหน่งของกล้องเสมือนที่ใช้ในการประมวลผลภาพ แล้วคำนวณเป็นรังสีด้วยการแปลงด้วยเมตริกแบบอันโปรเจคชั่น (unprojection) หรือการแปลงอินเวอร์ส (inverse) จากพิกัดสามมิติในปริภูมิจำลองสู่พิกัดสองมิติบนจอแสดงผล

3. ทดสอบหาจุดอินเตอร์เซกชัน (intersection) p ระหว่างรังสีกับระนาบสำหรับอ้างอิงตำแหน่งของเมาส์ในสามมิติ

4. เมื่อเคลื่อนเมาส์จุดกำเนิดจะเปลี่ยนไปที่จุด m' แล้วทดสอบหาจุด intersection p' เช่นเดียวกับ p

5. นำ $p' - p$ ไปใช้ในการประมวลผลการจัดวาง

ซึ่งในการจัดวางอาจกำหนดระนาบที่ใช้อ้างอิงการเลื่อนขนานของเมาส์ในสามมิติ ตามระนาบขนานต่างๆ เพื่อเพื่อให้เกิดการจัดวางบนระนาบต่างๆ กันออกไปตามการใช้งาน โดยจะจัดวางระนาบให้ตัดกันตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุ เพื่อให้การหาจุด p และ p' จากเลื่อนเมาส์สัมพันธ์กับตำแหน่งของวัตถุ เช่นการเลื่อนวขนานตามแกน xz เช่นเดียวกับรูปที่ 2.7 การเลื่อนวัตถุขนานกับระนาบตั้งฉากกับทิศทางของกล้องเสมือนในรูปที่ 2.8(ก) และการหมุนแบบลูกกลิ้งที่จัดวางระนาบให้อยู่แนบผิวสัมผัสของทรงกลมเสมือนในรูปที่ 2.8(ข)



รูปที่ 2.8 การกำหนดระนาบที่ใช้อ้างอิงการเคลื่อนขนานกับระนาบตั้งฉากกับทิศทางของกล้องเสมือน

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์เพื่อการฝึกหัดด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์จากการเข้าติดต่อกับโรงพยาบาลจริงเพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์ที่มีส่วนสำคัญที่จำเป็นต่อการใช้งานจากการฝึกตรวจจริง ในบทนี้เสนอรายละเอียดดังกล่าวโดยแบ่งการนำเสนอออกเป็นสามขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ (Software Requirement Determination)
2. การออกแบบซอฟต์แวร์ (Software Design)
3. การทดสอบและประเมินผล (Evaluation)

ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์

การพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้น ควรคำนึงถึงการใช้งานในภาคปฏิบัติ จึงต้องมีการกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ (Software Requirement) โดยการศึกษาข้อเท็จจริงจากการฝึกตรวจจริง ผู้วิจัยได้ทำการติดต่อกับโรงพยาบาลราชวิถี เพื่อทำการขอข้อมูล และกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ด้วยวิธีสังเกตการณ์

รูปที่ 3.1 การสาธิตการฝึกตรวจจากทางโรงพยาบาล

ผู้วิจัยได้นำการสังเกตการณ์ มาพิจารณาร่วมกับงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษา กำหนดเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ ที่เสนอและได้รับการทบทวนเพื่อให้ข้อกำหนดสอดคล้องถูกต้องกับการใช้งานจริงกับนายแพทย์แล้ว หน้าที่หลัก (functional requirement) ที่กำหนดขึ้นมีรายละเอียดแบ่งเป็นประเด็นๆ ดังต่อไปนี้

1. ในการขยับหัวตรวจไปยังตำแหน่งระนาบตัดขวางตามที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2.1 นั้น อย่างน้อยที่สุดจะต้องคำนึงถึงการจัดวางอันประกอบไปด้วยตำแหน่งและทิศทางของทารกกับหัวใจของทารกที่อยู่ด้วยกัน กับหัวตรวจ ซอฟต์แวร์จึงควรมีการจำลองการจัดวางวัตถุทั้งสามแบบนี้คือ ทารก หัวใจ และหัวตรวจ

2. จากข้อสรุปของการวิจารณ์เรื่องแบบจำลองของหัวใจทารกในบทที่ 2.2 และการสังเกตภาพตัดขวางอัลตราซาวด์ของหัวใจทารกในบทที่ 2.1 ให้นำข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติของหัวใจเด็กเข้ามาใช้เป็นแบบจำลองของหัวใจโดยตรง ซึ่งนายแพทย์มีความพร้อมที่จะเตรียมข้อมูล และโอนถ่ายข้อมูลจากเครื่องตรวจอัลตราซาวด์ GE รุ่น Voluson E8 ของโรงพยาบาลมาใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์

3. จากการจำลองการจัดวางของวัตถุในข้อ 1 ซอฟต์แวร์ต้องสามารถบันทึกการจัดวางของทารก หัวใจ กับข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติที่นำเข้ามาในข้อ 2 เพื่อเป็นการจัดเตรียมเป็นไฟล์กรณี

ฝึกหัดหลายๆ กรณี เปรียบเสมือนการที่มารดาผู้ฝากครรภ์มาเข้ารับการตรวจในแต่ละครั้งที่ทารกจะมีทิศทางในการนอนที่แตกต่างกัน (ถือเป็นแบบจำลองการจัดวางของทารกและหัวใจ) และมีลักษณะหัวใจที่แตกต่างกันได้ (ถือเป็นแบบจำลองหัวใจในข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ) เมื่อได้ทำการจัดเตรียมไฟล์กรณีฝึกหัดแล้ว จะสามารถนำกรณีฝึกหัดมาใช้ในการฝึกตรวจโดยการให้ผู้ฝึกตรวจจัดวางหัวตรวจกับไฟล์กรณีฝึกที่มีการบันทึกการจัดวางของทารกและหัวใจกับข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติเอาไว้ แล้วทำการบันทึกระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรองสี่ระนาบที่ระบุไว้ในบทที่ 2.1 เป็นภาพนิ่งได้ กล่าวโดยสรุปคือ ซอฟต์แวร์จะแบ่งการใช้งานออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ การสร้างกรณีตรวจเพื่อให้ได้ไฟล์กรณีตรวจ และการฝึกตรวจที่เป็นการนำไฟล์กรณีตรวจมาเปิดใช้ฝึกหัด

4. ในลักษณะการใช้งานที่กล่าวไว้ในข้อที่ 3 ซอฟต์แวร์จะต้องแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์เพื่อใช้ในการฝึกหัด โดยให้ผู้ฝึกสังเกตและทำความเข้าใจภาพระนาบได้เปรียบเสมือนการตรวจจริงโดยใช้การจำลองการจัดวางวัตถุในข้อ 1 และข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติที่นำเข้ามาใช้ในข้อ 2

5. ในลักษณะการใช้งานที่กล่าวไว้ในข้อที่ 3 ซอฟต์แวร์จะต้องแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุที่จำลองขึ้นตามที่กล่าวไว้ในข้อ 1 เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจการจัดวางวัตถุที่คำนึงถึงได้

6. ในลักษณะการใช้งานที่กล่าวไว้ในข้อที่ 3 และการจัดวางวัตถุที่จำลองขึ้นในข้อ 1 เนื่องจากอุปกรณ์เมาส์เป็นอุปกรณ์สำหรับการปฏิสัมพันธ์กับภาพบนจอแสดงผลที่ใช้งานกันทั่วไป ซอฟต์แวร์จะต้องให้ผู้ใช้สามารถจัดวางวัตถุด้วยการใช้อุปกรณ์เมาส์โต้ตอบโดยตรงกับภาพประกอบที่กล่าวไว้ในข้อ 5

7. ในลักษณะการใช้งานที่กล่าวไว้ในข้อที่ 3 และการจัดวางวัตถุที่จำลองขึ้นในข้อ 1 เฉพาะการจำลองการจัดวางของหัวตรวจ เพื่อเปิดโอกาสในการฝึกขยับหัวตรวจให้เสมือนการใช้มือจับหัวตรวจจริง ซอฟต์แวร์จะต้องให้วิธีในการจัดวางหัวตรวจที่จำลองขึ้นด้วยอุปกรณ์หัวตรวจที่ทำขึ้นเป็นฮาร์ดแวร์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในประเด็นข้อที่ 3 สำหรับการฝึกนั้นนายแพทย์ได้ขอให้รายละเอียดของการบันทึกระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ในการใช้งานในส่วนฝึกหัดที่จำลองขึ้น มีขั้นตอนเลียนแบบจากการใช้เครื่องอัลตราซาวด์จริงคือ ให้ผู้ใช้ทำการแช่ภาพระนาบ (acquisitioning freeze) ระหว่างการจัดวางหัวตรวจที่ต้องการจะบันทึกเพื่อพิจารณาภาพในขณะที่ภาพหยุดนิ่งก่อนจะทำการบันทึกภาพระนาบตามเกณฑ์คัดกรอง และให้มีขั้นตอนที่ผู้ฝึกสามารถเลือกดูและขยายภาพไปยังบริเวณภาพที่ต้องการเน้นให้ชัดเจนและบันทึกภาพนั้นกลับลงไป ตามลักษณะการใช้งานที่เป็นประโยชน์ในการใช้งานจากเครื่องจริงด้วย

นอกจากหน้าที่หลักที่กล่าวถึงแล้ว เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ฝึกสามารถฝึกจากกรณีตรวจได้อย่างเป็นอิสระต่อสถานที่ จึงกำหนดให้ซอฟต์แวร์สามารถปฏิบัติการได้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ได้เป็นหน้าที่เสริม (non-functional requirement) ของซอฟต์แวร์

จากประเด็นของการกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ที่กล่าวมา สามารถสรุปเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนาขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในหน้าถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 หน้าที่ของซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์

หน้าที่หลักของซอฟต์แวร์	
1	จำลองการจัดวางวัตถุสามแบบคือ ทารก หัวใจ และหัวตรวจ
2	อ่านข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติจากเครื่องตรวจอัลตราซาวด์ GE รุ่น Voluson E8 ของโรงพยาบาล
การประยุกต์ใช้สำหรับการสร้างแบบฝึกหัด (การสร้างกรณีตรวจ)	
3	นำเข้าข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติเข้ามาใช้
4	ให้ผู้ใช้จัดวางทารก หัวใจ กับข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติที่ใช้ และบันทึกเป็นไฟล์แบบฝึกหัด
การประยุกต์ใช้สำหรับการฝึกหัดการตรวจ	
5	เปิดแบบฝึกหัดมาใช้ในการฝึก
6	ให้ผู้ใช้จัดวาง แช่ภาพระนาบตัดขวาง และบันทึกเป็นภาพระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรอง 4 ระนาบ
7	ให้ตัวเลือกในการแก้ขยายและเลื่อนตำแหน่งกึ่งกลางภาพระนาบตัดขวางที่บันทึก
8	บันทึกเป็นข้อมูลในการฝึกตรวจเป็นไฟล์ผลการฝึกตรวจ และการเปิดไฟล์ผลการฝึกตรวจกลับขึ้นมา
การประยุกต์ใช้ในภาพรวม	
9	แสดงผลภาพระนาบตัดขวางจากข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติที่สอดคล้องกับการจัดวางของหัวใจ และหัวตรวจ
10	แสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุที่จำลองขึ้น
11	ให้ผู้ใช้จัดวางวัตถุที่จำลองด้วยการใช้เมาส์สั่งการบนภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุ
12	ให้ผู้ใช้เลือกจัดวางวัตถุหัวตรวจที่จำลองขึ้นด้วยหัวตรวจอัลตราซาวด์จำลองที่เป็นฮาร์ดแวร์*
หน้าที่เสริมของซอฟต์แวร์	
13	สามารถปฏิบัติการได้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
หมายเหตุ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ไม่จัดอยู่ในขอบเขตของระบบ แต่ให้มีการกำหนดลักษณะของข้อมูลและวิธีการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์*	

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

จากที่ได้กำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ไปแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่สำคัญของการออกแบบซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถแบ่งส่วนเป็นบทย่อยคือ

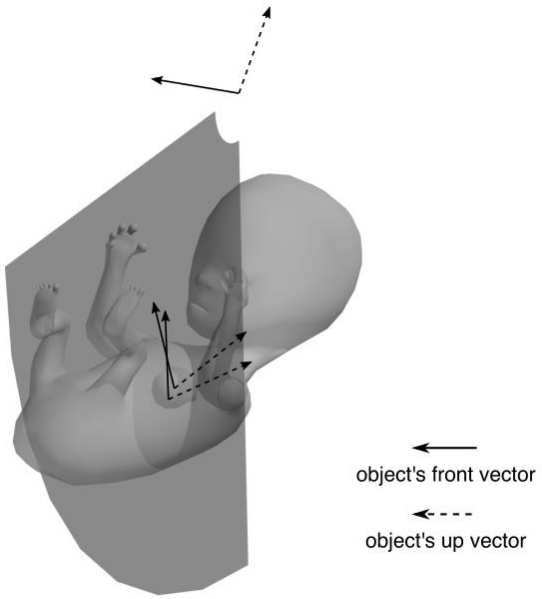
1. การจำลองการจัดวางวัตถุ และการแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางวัตถุ
2. การแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์
3. ภาพรวมของส่วนประกอบในซอฟต์แวร์ และอื่นๆ

มีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังจะกล่าวต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1 การจำลองการจัดวางวัตถุ และการแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางวัตถุ

ตามหน้าที่ของซอฟต์แวร์ที่กำหนดขึ้นให้จำลองการจัดวางวัตถุที่ใช้คำนึงถึงในการฝึกตรวจ อันประกอบไปด้วยตำแหน่งและทิศทางของวัตถุแต่ละชิ้น การจำลองการจัดวางเป็นพื้นฐานสำคัญต่อซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น เพราะนอกจากจะเป็นการจำลองการจัดวางของวัตถุที่เป็นประเด็นหลักที่ต้องคำนึงถึงในทักษะการตรวจแล้ว ข้อมูลของแบบจำลองการจัดวาง ยังจะต้องถูกนำไปใช้ในการสร้างภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุ และการสร้างภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ให้สามารถแสดงผลต่อผู้ใช้งานได้ถูกต้องด้วย



รูปที่ 3.2 การแทนการจัดวางวัตถุที่คำนึงถึงในการฝึกตรวจ
ด้วยการจัดวางโรโตทราสเลชั่น และทรีดีเซอร์เฟส

ในการจำลองการฝึกตรวจหนึ่งๆ กำหนดปริภูมิยูคลิดสามมิติ และให้วัตถุ (ทั้งสามแบบ อันได้แก่ ทารก หัวใจ และหัวตรวจ) แต่ละชิ้นมีแบบจำลองการจัดวางเป็นวัตถุแข็งเกร็งที่แทนด้วยส่วนของเส้นตรงสองเส้นที่มีทิศทางหนึ่งหน่วยจากกำเนิดจากตำแหน่งใดๆ ที่จัดให้เป็นกึ่งกลางของวัตถุ โดยให้ทิศทางของส่วนของเส้นตรงถูกตีความหมายว่าเป็นด้านหน้าและด้านบนของวัตถุ เราสามารถประยุกต์ใช้การจัดวางโรโตทราสเลชั่นเพื่อแปลงส่วนของเส้นตรงดังกล่าวที่แทนการจัดวาง

ของวัตถุ ให้ไปอยู่ในการจัดวางที่จำลองขึ้น จากนั้นสำหรับการแสดงผลภาพประกอบนั้น จะใช้ทรีดีเซอร์เฟสแทนวัตถุแต่ละชิ้น โปรแกรมการแสดงผลด้วยโอเพ่นจีแอล และทำการจัดวางทรีดีเซอร์เฟสด้วยการแปลงโรโตทราสเลชั่นเช่นเดียวกันกับแบบจำลองการจัดวาง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.2 การแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์

ในเบื้องต้นของการพัฒนาและการออกแบบการแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์นี้ จากวิธีการแสดงผลระนาบตัดขวาง และประเด็นเรื่องข้อจำกัดของขนาดข้อมูลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ที่กล่าวถึงในบทที่ 2.4 และ 2.5 ผู้วิจัยได้ทำการขอรับตัวอย่างของข้อมูลจากโรงพยาบาลเพื่อคำนึงถึงขนาดของข้อมูล ยกตัวอย่างขนาดของข้อมูลตามตารางตารางที่ 3.2 ที่ขนาดของข้อมูลเกิดจากผลคูณของปริมาณจุดภาพทั้งสี่มิติ

ตารางที่ 3.2 ขนาดของข้อมูลที่แปรผันตามปริมาณจุดภาพของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ

ปริมาณจุดภาพในแต่ละมิติ				จุดภาพโดยประมาณ
r	a	e	t	(ล้านจุด)
731	**216**	**23**	**37**	**131**
644	191	24	35	101
490	260	20	35	87
424	159	29	40	76
296	244	23	40	65
296	159	22	40	40
216	144	14	40	17

ขนาดของปริมาณจุดภาพในแต่ละมิตินี้ขึ้นกับการตั้งค่าบันทึกภาพ จากการทดลองตั้งค่าการบันทึกภาพของอุปกรณ์ Voluson E8 เพื่อให้ข้อมูลมีขนาดใหญ่ที่สุด เมื่อพยายามตั้งค่าแต่ละมิติให้บันทึกสูงที่สุดแล้ว อุปกรณ์จะมีข้อจำกัดให้แลกเปลี่ยนรายละเอียดเชิงปริมาณของข้อมูลในแต่ละมิติอันเป็นดุลพินิจของผู้บันทึกภาพ ซึ่งพบว่าข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติที่จะนำมาใช้ มีขนาดของข้อมูลโดยประมาณครอบคลุมสูงถึง 131 ล้านจุดภาพ ประมาณโดยคร่าวๆ เป็น 150 ล้าน

จุดภาพ ซึ่งเพียงพอต่อการแบ่งส่วนเพื่ออัพโหลดสู่หน่วยความจำของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ด้วยเทกเจอร์สองมิติตามที่เคยได้ระบุไว้คือจะหน่วยประมวลผลกราฟิกส์จะรองรับข้อมูลมากกว่า 1,074 ล้านจุดภาพ

เมื่อเราสามารถจัดเตรียมข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติเข้าสู่สายท่อกราฟิกส์ได้แล้ว จึงใช้ข้อมูลดังกล่าวแสดงผลเป็นระนาบตัดขวางตามที่กล่าวถึงในบทที่ 2.4 โดยในการออกแบบการแสดงผลเพื่อการฝึกหัดนี้ จะต้องคำนึงถึงการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางในบริเวณที่สอดคล้องกับการจัดวางโรโตทราสเลชั่นของหัวใจทารกกับหัวตรวจด้วย ระบุเป็นรหัสโปรแกรมแฟรกเมนต์เชดเดอร์โดยย่อในรูปที่ 3.3 ในหน้าถัดไป

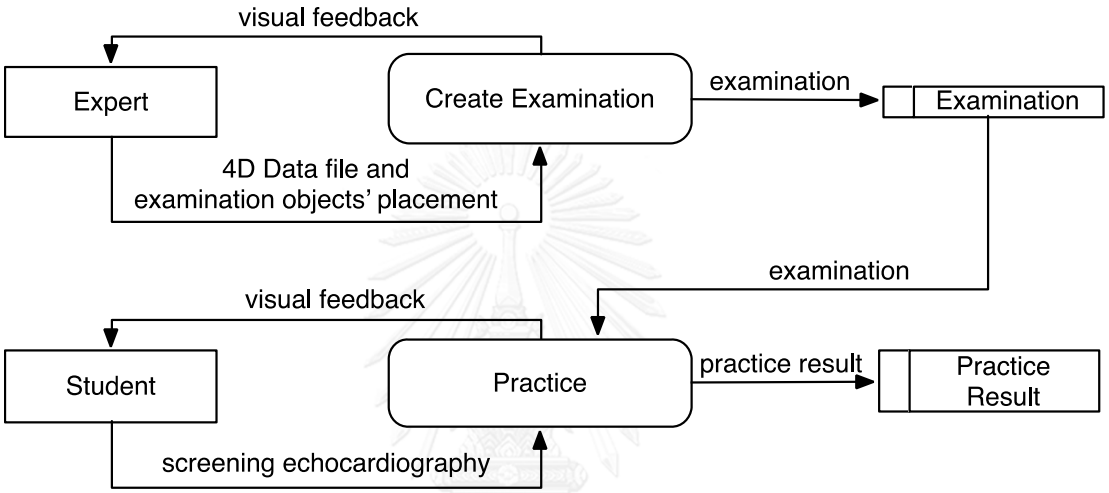
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
01 // การประมวลผลนี้พิจารณาในพิกัดอ้างอิงจุดกำเนิดของปริภูมิหลัก (ที่ใช้ในการจัดวางหัวตรวจ ทารก และ
หัวใจทารก)
   // สัญลักษณ์ s r a e หมายถึง ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลมเริ่มต้น ระยะสิ้นสุด มุมอะซิมุท และมุม
ยก ตามลำดับ
02
03 // ข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ
04 uniform sampler2DArray  ultrasnd4D_data;  // เนื้อข้อมูลในรูปแบบอาร์เรย์ของข้อมูลเทกเจอร์
สองมิติ
05 uniform ivec4          ultrasnd4D_size;           // ข้อมูลกำกับขนาดอาร์เรย์สี่มิติ
06 uniform vec4           ultrasnd4D_3DsphereGridDesc // ข้อมูลกำกับลักษณะส่วนของทรง
กลม s r a e
07
08 // ข้อมูลประกอบการแสดงผลระนาบตัดขวาง
09 uniform mat4           rototranslation     // การจัดวางของปริมาตรอัลตราซาวด์ในปริภูมิ
ฝึกตรวจ
10 uniform int            time                // ข้อมูลกำกับการเรียกแสดงผลปริมาตรอัลตรา
ซาวด์ตามเวลา
11
12 in vec3     worldspacePos;  // พิกัดฉากในปริภูมิฝึกตรวจของจุดภาพที่กำลังถูกประมวลผล(ที่
ประมวลผลจากพร็อกซีเรขาคณิตที่ส่งต่อมาจากสายท่อกราฟิกส์ในลำดับขั้นก่อนหน้า)
13
14 out float   pixelColor;      // ตัวแปรสำหรับส่งต่อข้อมูลจุดภาพที่ประมวลผลแล้ว
15
16 // แปลงพิกัดฉากจุดกำเนิดของหัวตรวจให้เป็นตำแหน่งศูนย์กลางทรงกลมของปริมาตรอัลตราซาวด์
17 vec3 ultrasndSpacePos = inverse( rototranslation ) *worldspacePos;
18
19 // พิจารณาให้มิติของแกนระยะห่างจุดศูนย์กลางทรงกลมเป็นระยะปรับเทียบ เนื่องจากเป็นระยะแบบตาราง
เช่นเดียวกับพิกัดฉาก แล้วยกเลิกการประมวลผลเมื่อพิกัดอยู่นอกขอบเขตของข้อมูลอัลตราซาวด์ในแกนนี้
20 vec3 nUltrasndSpacePos = ultrasndSpacePos /ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.r;
21 if ( nUltrasndSpacePos.h > 1 || nUltrasndSpacePos.h < 0 ) discard;
22
23 // แปลงให้อยู่ในรูปแบบพิกัดทรงกลม แล้วยกเลิกการประมวลผลเมื่อพิกัดแกน ae อยู่นอกขอบเขต
24 vec3 nUltrasndSphereSpacePos = vec3 (
25     sqrt( dot( nUltrasndSpacePos, nUltrasndSpacePos ) ),    // r
26     atan( nUltrasndSpacePos.xz /nUltrasndSpacePos.y )       // a e
27 );
28
29 if ( abs(nUltrasndSphereSpacePos.ae) > ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.ae ) discard;
30 float ultrasnd4D_3DsphereGridSRatio = ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.s
31                                      /ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.r;
32
33 // ทำการปรับเทียบสู่ขนาดกำกับข้อมูลสี่มิติ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งแบบอาร์เรย์สี่มิติ
34 vec4 ultrasnd4D_address = vec4 (
35     ultrasnd4D_size.x *( nUltransndSphereSpacePos.a/
ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.a +0.5 ),
36     ultrasnd4D_size.y *( nUltransndSphereSpacePos.r -
ultrasnd4D_3DsphereGridSRatio )
37                         /( 1.0 -ultrasnd4D_3DsphereGridSRatio ),
38     ultrasnd4D_size.z *( nUltransndSphereSpacePos.e/
ultrasnd4D_3DsphereGridDesc.e +0.5 ),
39     time
40 );
41
42 // ทำการเรียกอ่านข้อมูลในก็ต่อเมื่อเป็นข้อมูลที่อยู่ในขนาดอาร์เรย์ของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ
43 if ( IsInBoundary( ultrasnd4D_address, ultrasnd4D_size ) ) {
44     // เรียกข้อมูลจากการแปลงและแบ่งข้อมูลด้วยเทกเจอร์สองมิติ เพื่อใช้ในการแสดงผลจุดภาพ
45     pixelColor = Access4Dto2DArray( ultrasnd4D_address, ultrasnd4D_address )
46 } else discard;
```

รูปที่ 3.3 รหัสโปรแกรมแฟรกเมนต์เชดเดอร์การแสดงผลภาพระนาบตัดขวาง (แบบย่อ)

3.2.3 ภาพรวมของส่วนประกอบในซอฟต์แวร์ และอื่นๆ

จากหน้าที่ของซอฟต์แวร์ กำหนดให้มีการแบ่งการใช้งานออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ การสร้างกรณีตรวจ เพื่อให้ได้ไฟล์กรณีตรวจ และการฝึกตรวจที่เป็นการนำไฟล์กรณีตรวจมาเปิดใช้ฝึกตรวจ แล้วจึงจะบันทึกเป็นไฟล์ผลการฝึกตรวจ สามารถออกแบบซอฟต์แวร์ในภาพรวมจากข้อกำหนดนี้เป็นแผนผังบริบท (context diagram) ดังรูปที่ 3.4

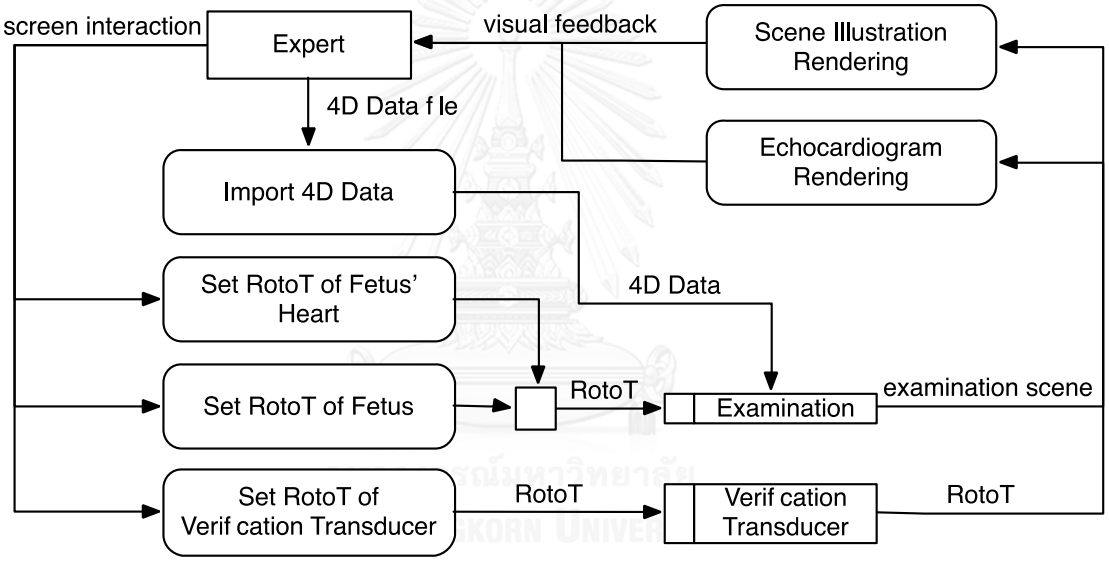


รูปที่ 3.4 แผนผังบริบทอธิบายภาพรวมซอฟต์แวร์ชั้นที่สูงที่สุด

พิจารณาทั้งสองส่วน ทั้งสองส่วนเป็นกระบวนการที่ผู้ใช้สั่งการให้ข้อมูลการจัดวางในขณะที่ได้รับภาพแสดงผลรายงานผลการจัดวาง ซึ่งในที่นี้ต้องเป็นการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแบบเรลไทม์ คือผู้ใช้จะต้องได้รับภาพแสดงผลจากการจัดวางในทันที และมีความต่อเนื่องไปพร้อมๆ กับการจัดวางด้วยการขยับเมาส์หรือหัวตรวจที่เป็นฮาร์ดแวร์

พิจารณากระบวนการสร้างแบบฝึกหัด การกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์กำหนดให้มีการจำลองการจัดวางของทารกและหัวใจ และนำเข้าข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติมาใช้เพื่อบันทึกเป็นแบบฝึกหัด โดยมีภาพประกอบแสดงการจัดวางของทารกและหัวใจด้วย นอกจากนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นว่าในการสร้างแบบฝึกหัด ควรมีการจำลองหัวตรวจไว้สำหรับทำความเข้าใจและตรวจสอบความถูกต้องของแบบฝึกหัดที่สร้างขึ้นด้วย จึงออกแบบให้มีการจำลองหัวตรวจอัลตราซาวด์เฉพาะสำหรับการตรวจสอบนี้ พร้อมกับการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ที่อ้างอิงการจัดวาง

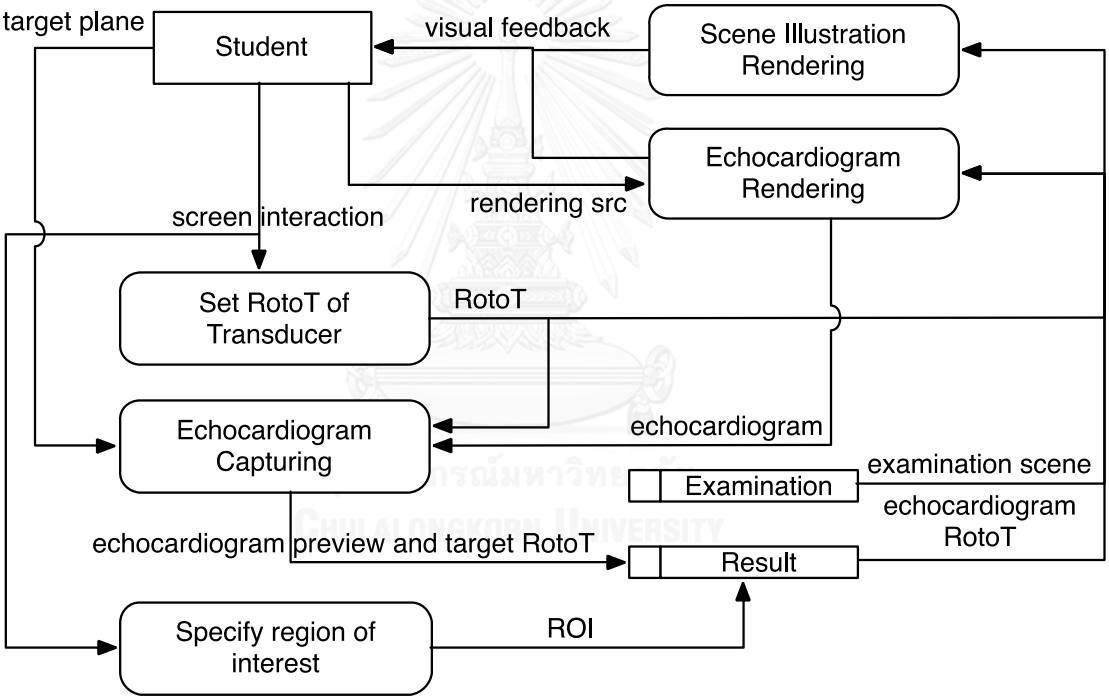
ของการจัดวางของทารกและหัวใจ กับข้อมูลอัลตราซาวด์ที่จัดเก็บอยู่ในแบบฝึกหัดที่สร้างขึ้น เมื่อสิ้นสุดการสร้างแบบฝึกหัด ข้อมูลแบบฝึกหัดที่สร้างขึ้นจะนำมาใช้เป็นข้อมูลที่เป็นบันทึกเป็นไฟล์แบบฝึกหัดเพื่อนำไปใช้ต่อในกระบวนการฝึกตรวจ จากรายละเอียดของกระบวนการสร้างแบบฝึกหัดที่กล่าวมานี้ สามารถกำหนดเป็นกระบวนการย่อย ที่ส่งถ่ายข้อมูลกับหน่วยจัดเก็บข้อมูล และผู้ใช้ เป็นแผนภาพกระแสข้อมูล (data flow diagram) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 โปรดสังเกตเป็นการเพิ่มเติมว่า ในแผนภาพกระแสข้อมูลนี้มีการออกแบบให้จัดเก็บและแสดงผลการจัดวางของหัวตรวจ แต่ข้อมูลการจัดวางหัวตรวจนี้ จัดแยกออกมาจากการจัดเก็บข้อมูลของแบบฝึกหัด เนื่องจากไม่ได้เป็นข้อมูลที่สนใจนำไปใช้เป็นแบบฝึกหัดที่จะถูกบันทึกลงในไฟล์



รูปที่ 3.5 แผนภาพกระแสข้อมูลของกระบวนการสร้างแบบฝึกหัด

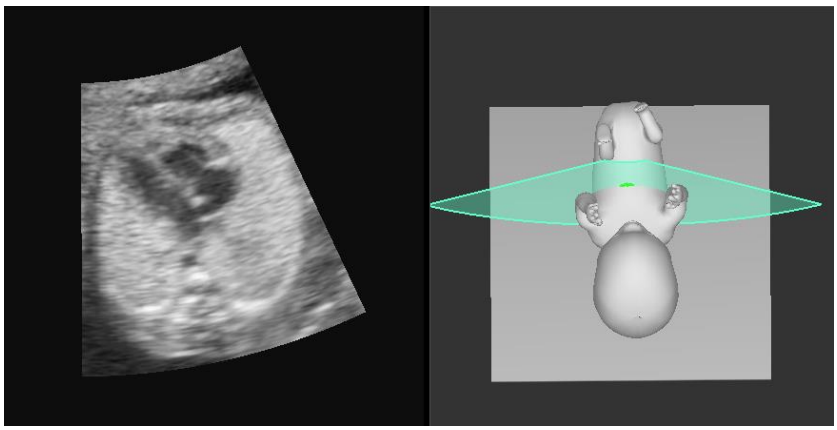
พิจารณากระบวนการฝึกตรวจ ในส่วนฝึกตรวจจะนำข้อมูลไฟล์แบบฝึกหัดมาใช้ร่วมกับการบวนการบันทึกระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรอง ผู้ใช้จะกำหนดการจัดวางของหัวตรวจ และสั่งให้บันทึกโดยให้ข้อมูลว่าจะบันทึกเป็นระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรองแบบใดจากสี่แบบ ในส่วนนี้มีกระบวนการแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุ และกระบวนการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์จากข้อมูลแบบฝึกหัดเช่นเดียวกับกระบวนการสร้างแบบฝึกหัด แต่ข้อมูลการจัดวางหัวตรวจที่ใช้ในการแสดงผลมีที่มาแตกต่างกันคือ เดิมที่จะเป็นข้อมูลการจัดวางของหัวตรวจที่ออกแบบไว้สำหรับการตรวจสอบแบบฝึกหัด แต่ในกระบวนการฝึกตรวจนี้จะ

ออกแบบให้เป็นข้อมูลของการจัดวางหัวตรวจที่จะนำไปบันทึกเป็นผลการตรวจแทน ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกที่มาของข้อมูลที่จะใช้แสดงผลภาพระนาบตัดขวางได้ว่า จะให้กระบวนการสร้างภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์เลือกใช้ข้อมูลการจัดวางของระนาบตัดใดขึ้นมาแสดงผล ระหว่างระนาบตัดขวางที่จะใช้สำหรับสร้างผลการตรวจ หรือการจัดวางของระนาบตามเกณฑ์คัดกรองที่บันทึกเก็บไว้เป็นผลการตรวจอยู่แล้ว นอกจากนั้นแล้วยังมีส่วนของการระบุการขยายภาพผลการตรวจที่บันทึกไว้อีกด้วย รายละเอียดของกระบวนการฝึกตรวจนี้พร้อมกับกระบวนการย่อยภายในแสดงเป็นแผนภาพกระแสข้อมูลตามรูปที่ 3.6 เมื่อผู้ใช้สิ้นสุดการใช้งานจากส่วนนี้ ข้อมูลผลการตรวจจะถูกบันทึกลงในไฟล์



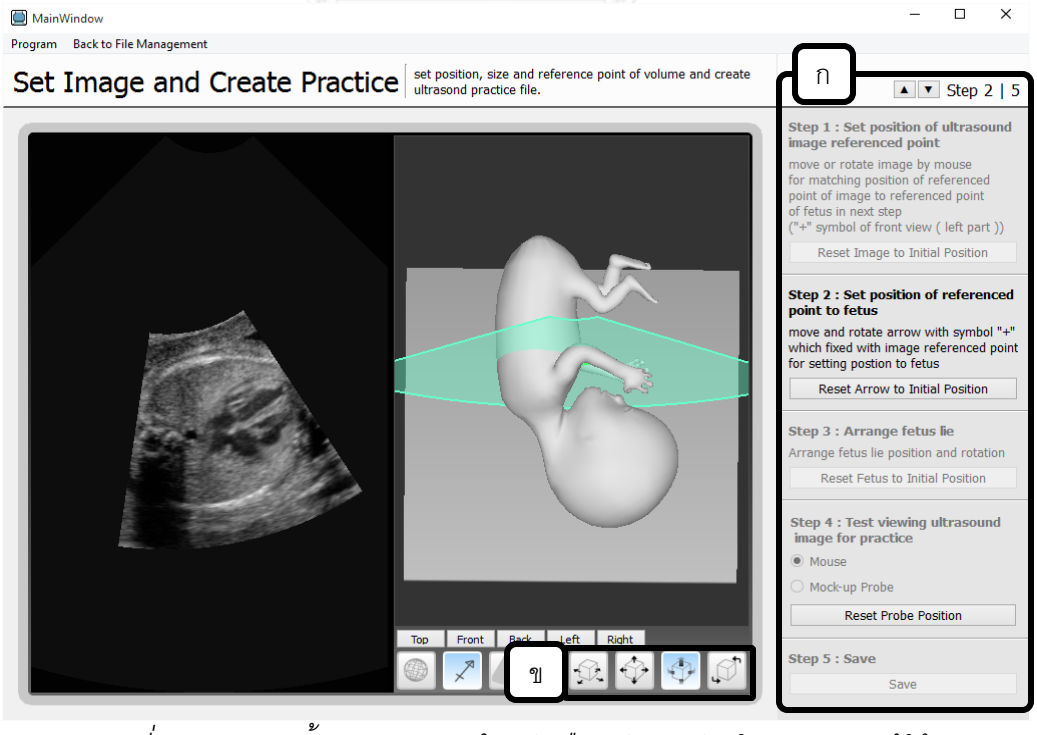
รูปที่ 3.6 แผนภาพกระแสข้อมูลของการบวนการฝึกตรวจ

จากการจำลองการจัดวางวัตถุ การแสดงผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางวัตถุ การแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ สามารถจัดทำเป็นส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางคู่กับการแสดงผลภาพประกอบของวัตถุในปริภูมิดังตัวอย่างในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การแสดงผลระนาบตัดขวางคู่กับภาพประกอบอธิบายการจัดวางของวัตถุในปริภูมิ

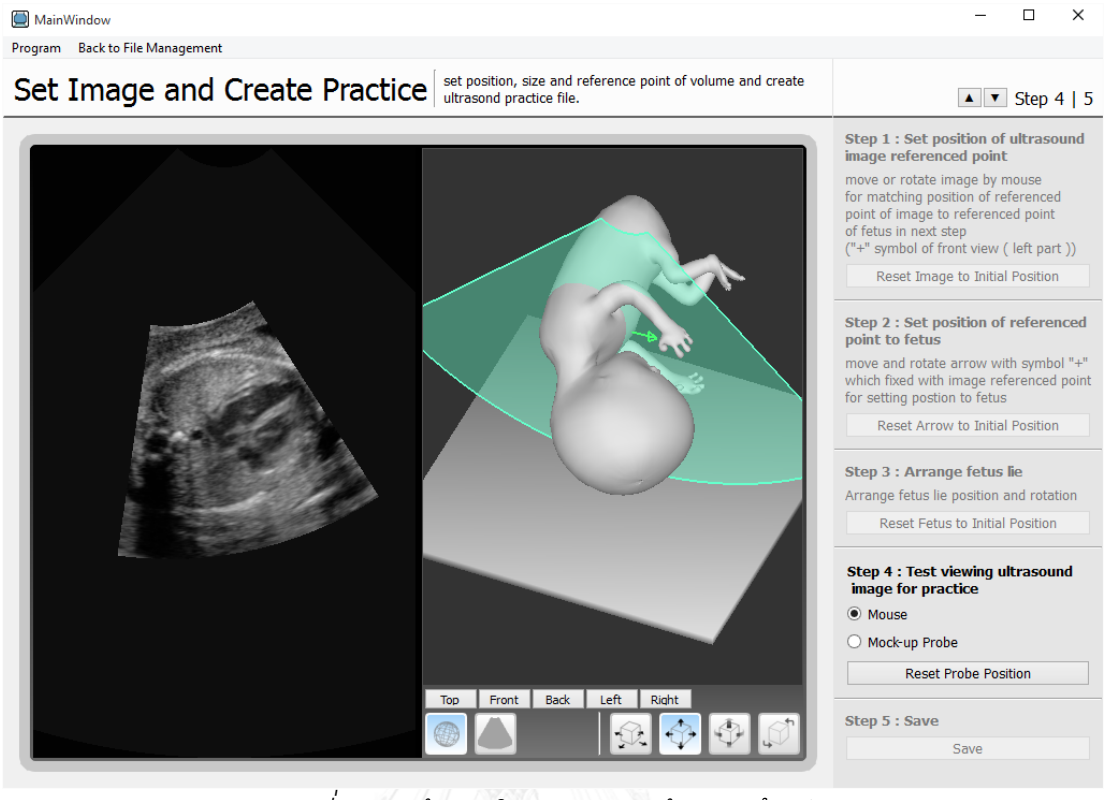
ในส่วนการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ ได้แบ่งขั้นตอนในการจัดวางวัตถุและการใช้งานอื่นๆ เช่นการบันทึกไฟล์ การตั้งค่า เป็นลำดับของรายการโดยผู้ใช้สามารถเลือกขั้นตอนได้จากปุ่มลูกศรในด้านบน สร้างเป็นส่วนติดต่อผู้ใช้ดังรูปที่ 3.8(ก) และทำปุ่มสำหรับเลือกจัดวางวัตถุสี่รูปแบบคือ แบบแรกจะเป็นการเลื่อนขนานตามระนาบ xz และอีกสามแบบจะเป็นการจัดวางตามระนาบตั้งฉากกับทิศทางของกล้องเสมือนคือ การเลื่อนขนาน การหมุนแบบลูกกลิ้งและการหมุนแบบนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 3.8(ข) เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ



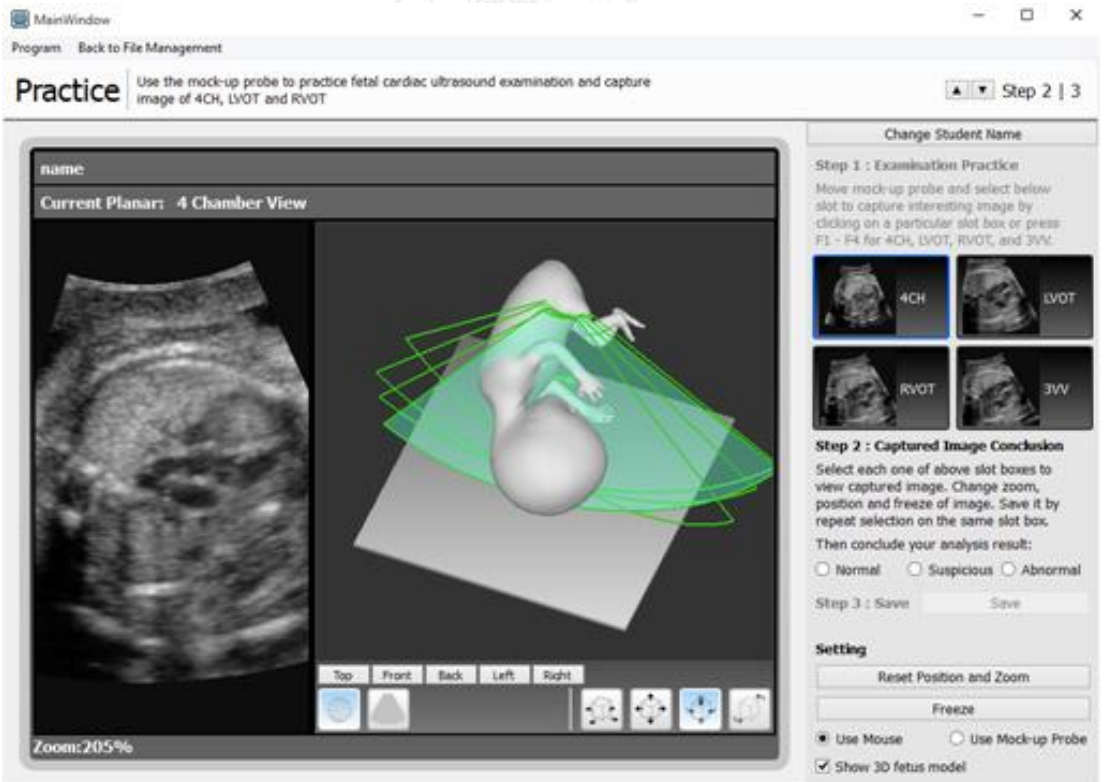
รูปที่ 3.8 รายการขั้นตอนและปุ่มสำหรับเลือกจัดวางวัตถุในส่วนติดต่อผู้ใช้

จากรายละเอียดทั้งหมดที่กล่าวถึงมาตั้งแต่ตอนต้นของบทการออกแบบซอฟต์แวร์นี้ จึงนำไปจัดทำเป็นโปรแกรมขึ้นด้วยภาษา C++ ใช้แอพลิเคชั่นเฟรมเวิร์คคิวทีรุ่นที่ 4.8 (Qt 4.8) ในการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้และการประยุกต์ใช้แอพลิเคชั่นในภาพรวม และใช้โอเพ่นจีแอล (Open GL) ในการประมวลผลภาพประกอบอธิบายการจัดวางวัตถุ และภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ สำหรับการเชื่อมต่อหัวตรวจที่เป็นฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะใช้เรียกขอสร้างโพรเซส (process) เพื่อรับข้อมูลการจัดวางโรโตทรานสเลชั่นจากเอสทีดีไอโอ (stdio) ซึ่งเป็นการอาศัยการสื่อสารระหว่างโพรเซสภายนอกจากระบบปฏิบัติการ ส่วนติดต่อผู้ใช้ของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นแสดงในรูปที่ 3.9 สำหรับกระบวนการสร้างแบบฝึกหัด และรูปที่ 3.10 สำหรับกระบวนการฝึกตรวจ สำหรับวิธีในการติดตั้งและการใช้งานสามารถศึกษารายละเอียดจากคู่มือการติดตั้งและใช้งานในบทที่ 5ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.9 หน้าต่างโปรแกรมส่วนสร้างแบบฝึกหัด



รูปที่ 3.10 หน้าต่างโปรแกรมส่วนฝึกตรวจ

3.3 การทดสอบและประเมินผล

เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่ออกแบบและพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ต้นแบบที่ออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงนี้ มีประเด็นสำคัญในการปรับปรุงการแสดงผลระนาบตัดขวางให้รองรับข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ และการสังเกตภาพระนาบตัดขวางมีความสำคัญอย่างยิ่งในการฝึกหัด เพื่อการประเมินความเหมาะสมของการออกแบบและความสมบูรณ์ในการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงแบ่งการทดสอบออกเป็นสองหัวข้อหลักคือ การทดสอบการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ แยกจากการประเมินผลความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ ทั้งสองหัวข้อมีรายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์

จากงานวิจัยของ Yuan, Green และ Lau (1997) ซึ่งกำหนดการประเมินทดสอบการแสดงผลแบบเรลไทม์สำหรับการแสดงผลเพื่อระบบเสมือนจริง (Virtual Reality) ระบุว่าในการแสดงผลในระบบที่ใช้โต้ตอบกับผู้ใช้ในทันทีจะต้องมีการจัดการออกแบบการแสดงผลเพื่อแลกเปลี่ยนระหว่างคุณภาพของภาพ (image quality) และความถี่ในการแสดงผล (frame rate) ที่เรียกการคำนึงถึงสองปัญหานี้ว่าเป็นปัญหาการแสดงผลแบบเรลไทม์ (real-time rendering problem) โดยรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้คือ

1. **คุณภาพของภาพ** เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพ กับภาพต้นแบบ (baseline) ที่สร้างขึ้นจากระบบอื่น เช่นการเปรียบเทียบกับภาพที่สร้างขึ้นในระบบที่มีต้นทุนสูงกว่า หรือใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่า

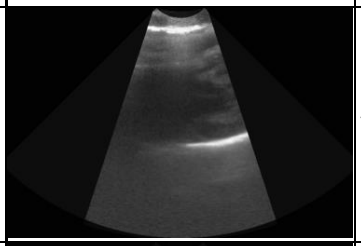
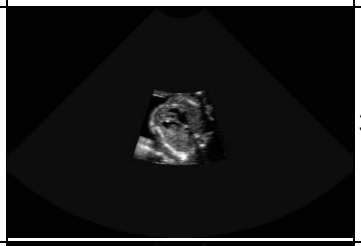
2. **ความถี่ในการประมวลผลภาพ** เป็นการประเมินความถี่ในการแสดงผล ซึ่งความถี่ที่ต้องการจัดเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ที่คำนึงถึงในปัญหาการแสดงผลแบบเรียลไทม์ ซึ่งการแสดงผลควรมีความสามารถในการแสดงผลด้วยความถี่สูงกว่าที่ต้องการ

สำหรับการสังเกตภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ของหัวใจทารกในครรภ์ในงานวิจัยนี้ ผู้ฝึกจะต้องทำการสังเกตภาพอัลตราซาวด์ที่มีลักษณะเหมือนภาพอัลตราซาวด์จริงและสามารถ

แสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องซึ่งซอฟต์แวร์ที่ทำขึ้นจัดเป็นระบบเสมือนจริงเช่นกัน จึงแบ่งการทดสอบเฉพาะสำหรับการแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ออกเป็น การทดสอบคุณภาพของภาพ และความถี่ในการแสดงผล โดยการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลอัลตราซาวด์ที่บันทึกจากอุปกรณ์ตรวจ Voluson E8 ตามภาพที่แสดงจากซอฟต์แวร์จัดการภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ชื่อ 4D View ไว้ในตารางที่ 3.3 แสดงไว้ให้ในตอนท้ายของบท ซึ่งระนาบที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ระนาบที่ขนานกับทิศทางมุมยกของปริมาตรอัลตราซาวด์ โดยมีทิศยอดของรูปกรวยชี้ขึ้นด้านบนเพื่อความสะดวกในการตั้งค่าเพื่อการทดสอบ และใช้การแสดงผลภาพระนาบตัดขวางด้วยจุดภาพขนาด 1024 x 768

ในการทดสอบคุณภาพของภาพ ในงานวิจัยนี้เลือกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางที่พัฒนาขึ้น กับการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางจากซอฟต์แวร์จัดการภาพ 4D View โดยทำการเปรียบเทียบแสดงออกมาเป็นภาพความต่าง (difference image) เพื่อระบุจุดสังเกตที่แตกต่างออกไป สำหรับการทดสอบความถี่ในการประมวลผลภาพ จะกำหนดให้ความถี่ที่สูงกว่า 30 ภาพต่อวินาที เป็นความถี่ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เช่นเดียวกับการแสดงผลในงานวิจัยการแสดงผลภาพจากภาพอัลตราซาวด์ก่อนหน้าของ Bredthauer และ von Ramm (2004) และ Kuo และคณะ (2007) ซึ่งทำการวัดผลขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์พกพาที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์แบบอินทิเกรต (integrated GPU) รุ่น Intel HD 3000 ที่ผลิตจำหน่ายในปี 2011

ตารางที่ 3.3 กลุ่มตัวอย่างของข้อมูลอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการทดสอบ

(ก)	(ข)	(ค)	(ก)	(ข)	(ค)
1		128.15	4		39.50
2		98.54	5		19.91
3		74.58	6		16.61

จากตาราง หลัก (ก) แสดงถึงลำดับของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบ หลัก (ข) แสดงถึงภาพระนาบตัดขวางตัวอย่างที่แสดงจากซอฟต์แวร์จัดการภาพ 4D View และหลัก (ค) แสดงปริมาณจุดภาพ (ล้านจุด) ของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์

จากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยที่ต้องการพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบให้สามารถนำไปทดลองใช้ฝึกตรวจได้จริง จึงทำการทดสอบด้วยการประเมินจากสูตินรีแพทย์ หรือแพทย์ที่มีประสบการณ์ในการตรวจคนไข้ด้วยระบบอัลตราซาวด์ โดยเนื่องจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นซอฟต์แวร์ที่จำลองสถานการณ์การฝึกตรวจ จึงเลือกกระบวนการทดสอบจากการปริทัศน์ของ Bowman และคณะ (2004) ที่ระบุเกี่ยวกับกระบวนการทดสอบสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (virtual environment) (ในกรณีของงานวิจัยนี้คือการฝึกตรวจเสมือนจริง) ซึ่งมีองค์ประกอบการประเมินในภาพรวมคือ

- **ภารกิจ** (Task) กำหนดขั้นตอนและเป้าหมายเป็นโจทย์ของการใช้งานให้ผู้ประเมิน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดภารกิจจากลักษณะการใช้งานหลักคือ การสร้างแบบฝึกหัด การจัดวางระนาบตัดขวาง การบันทึกระนาบตัดขวาง การเรียกดูภาพที่บันทึก และการแก้ไขภาพ
- **ต้นแบบ** (Prototype) ระบบที่สร้างขึ้นให้ใช้งานได้จริง เพื่อใช้ในการประเมินการออกแบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้ทำการพัฒนาขึ้นดังกล่าวในรายละเอียดไว้ในบทที่ 3.1 และ 3.2
- **วิธีการประเมินผล** (Evaluation Method) ในงานวิจัยนี้จะเลือกและทำการประเมินตามรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีในการประเมินผลนั้น ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ในภาพรวมในลักษณะแบบสอบถาม (questionnaire) ที่จะให้ผู้ประเมิน ประเมินหลังจากใช้งานต้นแบบซอฟต์แวร์ตามภารกิจเป็นการเสร็จสิ้น ซึ่งสร้างจากวิธีการประเมินที่เลือกใช้สองวิธีคือ

1. **การประเมินผลแบบฮิวริสติก** (Heuristic Evaluation) เป็นการประเมินจากงานวิจัยของ Nielsen (1994) ที่เป็นการประเมินจากเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญการออกแบบการใช้งานซอฟต์แวร์จากส่วนประสานผู้ใช้ ที่ควรถูกทำการประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญที่คุ้นเคยกับลักษณะของระบบที่จะทำการประเมิน

2. **การประเมินผลรวมหรือการประเมินผลเปรียบเทียบ** (Summative/Comparative Evaluation) เป็นการวัดผลที่ให้ผู้ประเมินทดสอบใช้ระบบแล้วเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะให้ผู้เชี่ยวชาญที่คุ้นเคยกับระบบกลุ่มเดียวกันกับที่ประเมินผลแบบฮิวริสติกมาประเมินเช่นกัน

จากกับการประเมินในงานวิจัยของ Nielsen และ Landauer (1993) กล่าวว่าลักษณะการประเมินจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้งานระบบ ปริมาณผู้ประเมินเพียง 5 คนจะเพียงพอต่อการทดสอบให้ครอบคุลมได้ถึง 95% ซึ่งเป็นปริมาณผู้ประเมินที่มีประสิทธิภาพในการชี้ปัญหาจากการทดลองใช้งานจากส่วนประสานผู้ใช้ ดังนั้นในการทดสอบจะทำการประเมินด้วยแบบสอบถามจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

ผู้วิจัยพิจารณาสร้างแบบสอบถาม ซึ่งผู้วิจัยและแพทย์ผู้ประสานงานกับทางโรงพยาบาลได้ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบประเมินแล้วด้วยการพิจารณาความเหมาะสมของข้อคำถามที่ใช้ในการประเมินให้สอดคล้องกับความเข้าใจของผู้ทำการประเมิน นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยได้กำหนดให้มีการประเมินให้คะแนนในภาพรวม และการแสดงความคิดเห็นปลายเปิดด้วย โดยแบบสอบถามที่สร้างขึ้นแนบในภาคผนวก ข สำหรับวิธีประเมินที่เลือกใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.2.1 การประเมินผลแบบฮิวริสติก (Heuristic Evaluation)

ผู้วิจัยได้พิจารณาสร้างข้อคำถามตามทฤษฎีฮิวริสติกของเนียลเซ็น 10 ข้อ (Nielsen's 10 principles) ดัดแปลงเป็นข้อความภาษาไทยจำนวน โดยปรับให้มีความเหมาะสมกับซอฟต์แวร์ของงานวิจัยและลักษณะของภารกิจ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังออกแบบข้อคำถามทั้ง 10 ข้อ ให้มีลักษณะเป็นข้อความทางลบหรือข้อความเชิงนิเสธ เพื่อเน้นให้ผู้ประเมินค้นหาปัญหาที่เกิดจากการใช้งานซอฟแวร์ ซึ่งสามารถแสดงข้อคำถามทั้ง 10 ข้อ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อคำถามตามรูปแบบการประเมินผลแบบฮิวริสติกของ Nielsen (1994)

ข้อที่	ข้อคำถาม / เกณฑ์ในการประเมิน
1	ผู้ใช้ไม่ทราบถึงขั้นตอนปัจจุบันของการใช้งาน สับสนว่าตนกำลังสั่งการอะไรในแต่ละขณะ
2	รูปแบบการใช้งานไม่สอดคล้องกับการตรวจจริง ไม่สามารถทำความเข้าใจ โดยนึกคิดจากระบบการตรวจจริงได้
3	ไม่สามารถแก้ไขหรือย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนใดๆ เพื่อแก้ไขการสั่งการที่ผู้ใช้สั่งผิดพลาดได้
4	ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพ และการแสดงผล ไม่มีความสอดคล้องกัน
5	มีข้อผิดพลาดของซอฟแวร์ปรากฏระหว่างการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ไม่ตอบสนองตามที่สั่งการ
6	ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการในขั้นตอนต่างๆ และการจัดวางวัตถุมีลักษณะซับซ้อน จดจำการสั่งการได้ลำบาก
7	ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการเพื่อฝึกหัดในขั้นตอนต่างๆ ขาดวิธีลัดในการสั่งการ เช่น การใช้คีย์บอร์ดแทนเมาส์
8	ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพและการแสดงผล ไม่มีความพอดี (ปริมาณมากหรือน้อยเกินไป) หรือไม่มีความเหมาะสม
9	เมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น (ทั้งจากการใช้งาน และข้อผิดพลาดของโปรแกรม) แล้ว โปรแกรมไม่ได้แนะนำวิธีการแก้ปัญหาให้กับผู้ใช้ หรือมีรหัสคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้อธิบายสาเหตุของปัญหา
10	การอบรม หรือเอกสารประกอบ ไม่เพียงพอต่อการทำความเข้าใจวิธีการใช้งาน

3.3.2.2 การประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ (Summative/Comparative Evaluation)

ผู้วิจัยได้พิจารณาสร้างข้อคำถามที่ใช้ในการประเมินตามการใช้งานซอฟต์แวร์ตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัย คือสามารถใช้ฝึกตรวจจริงในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ มาตั้งเป็นโจทย์ให้ผู้ประเมินทดลองทำการฝึกหัดการตรวจหัวใจทารกในครรภ์ด้วยซอฟแวร์จำลอง ข้อคำถามที่ใช้เป็นเกณฑ์การประเมิน ได้แก่

ตารางที่ 3.5 ข้อคำถามตามรูปแบบการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ

ข้อที่	ข้อคำถาม / เกณฑ์ในการประเมิน
1	จงให้คะแนนภาพอัลตราซาวด์ว่าสามารถนำไปใช้ในการงฝึกจริงได้หรือไม่ ระดับใด
2	จงให้คะแนนความสอดคล้องของหัวตรวจจำลองกับการแสดงภาพอัลตราซาวด์
3	จงให้คะแนนว่าการแสดงภาพโมเดลสามมิติของทารกในครรภ์ด้านข้างการแสดงภาพ อัลตราซาวด์สามารถช่วยในการฝึกหรือไม่ ระดับใด
4	จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนบันทึกระนาบตัดขวางว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่
5	จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนเรียกดูและแก้ไขว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

รายงานการทดสอบ การประเมินผล และการวิเคราะห์ผล

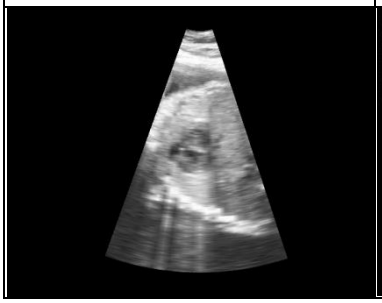
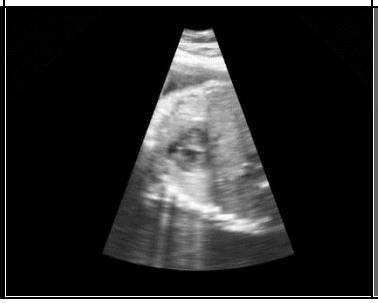
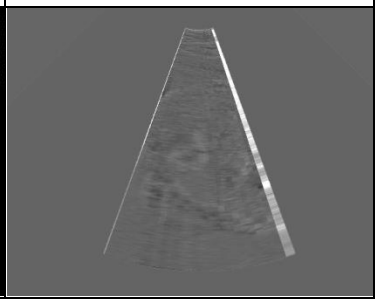
ในบทนี้รายงานการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบที่กล่าวถึงในบทที่ 3.3 ซึ่งในบทนี้จะแบ่งบทย่อยเป็น การทดสอบคุณภาพและความถี่ของการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ และการประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ที่ทำการประเมินผลแบบฮิวริสติกและการประเมินผลรวม จากนั้นจึงอภิปรายผลการทดลองในตอนท้าย มีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

4.1 การทดสอบคุณภาพของการแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์

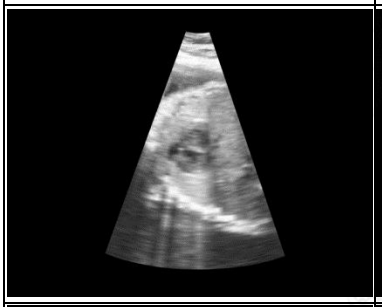
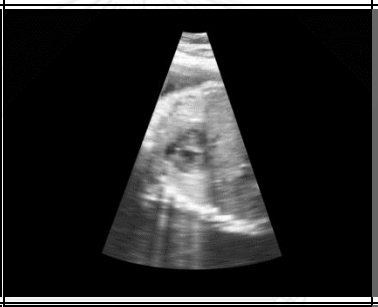
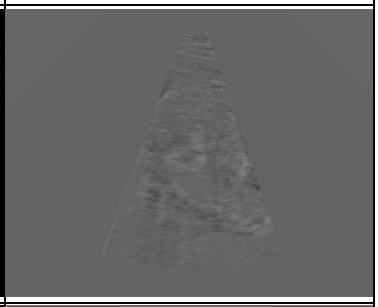
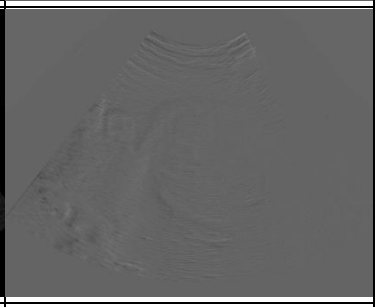
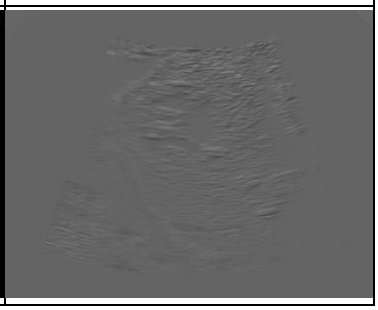
ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกภาพแสดงผลจากข้อมูลตัวอย่างจากซอฟต์แวร์ 4D View และจากส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางของงานวิจัย ทำการจัดวางภาพให้บริเวณทรงกรวยวางซ้อนทับกันพอดี ดังแสดงภาพรายงานไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

จากทั้งสองตารางในหลักซ้ายแสดงภาพตัดขวางจากซอฟต์แวร์ 4D View หลักกลางแสดงภาพตัดขวางจากส่วนแสดงผลภาพตัดขวางที่พัฒนาขึ้น และหลักขวาผู้วิจัยแสดงภาพที่มีริ้วรอยแสดงจุดภาพที่มีความแตกต่างระหว่างภาพตัดขวางจากซอฟต์แวร์ 4D View และส่วนแสดงผลของงานวิจัย พบว่าความแตกต่างที่ชัดเจนเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณขอบของรูปกรวย ดังแสดงภาพไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นรายละเอียดที่ไม่ได้ส่งผลต่อการฝึกหัดในการสังเกตภาพตัดขวางของอวัยวะในรูปกรวยอันเกิดจากความแตกต่างในตรรกะการแสดงผลข้อมูลบริเวณขอบในแต่ละมิติของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขบริเวณขอบรูปกรวยเพื่อรายงานผลโดยการละเว้นความแตกต่างบริเวณขอบภาพออกไป ตามผลลัพธ์ภาพดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 พบว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากและใช้สังเกตรายละเอียดได้เช่นเดียวกันกับภาพจริง

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบภาพจากซอฟต์แวร์ 4D View และส่วนแสดงผลของงานวิจัย

4D View	ส่วนแสดงผลของงานวิจัย	ภาพแสดงความแตกต่าง
		

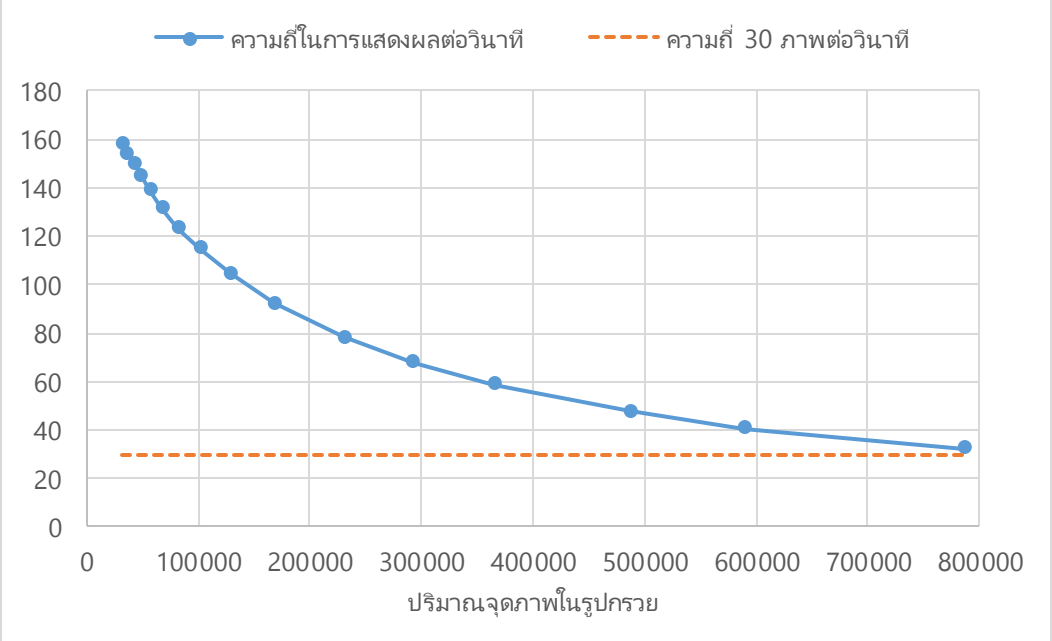
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบภาพซอฟต์แวร์ 4D View
และส่วนแสดงผลของงานวิจัยที่ละเว้นบริเวณขอบรูปกรวย

4D View	ส่วนแสดงผลของงานวิจัย	ภาพแสดงความแตกต่าง
		
		
		

4.2 การทดสอบความถี่ในการประมวลผลภาพ

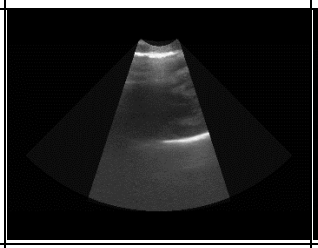
ในการทดสอบความถี่ในการประมวลผลภาพด้วยข้อมูลตัวอย่างในตารางที่ 3.3 ทำการวัดผลความถี่ด้วยการแสดงผลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 วินาที จำนวน 5 ครั้ง (จากการทดสอบความถี่มีความคงที่เพียงพอที่จะวัดเพียง 15 วินาทีเป็นจำนวน 5 ครั้ง โดยสังเกตได้จากผลตัวอย่างที่แสดงการวัดผลทั้ง 5 ในตารางที่ 4.4) มีผลทดสอบความถี่ดังรายงานผลไว้ในตารางที่ 4.3

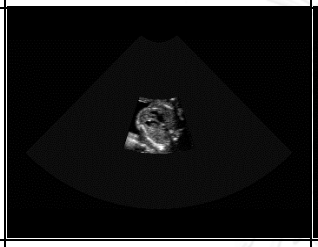
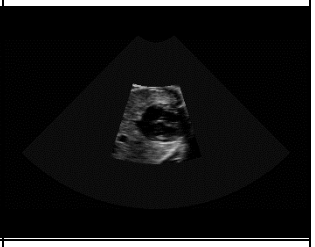
จากการสังเกตผลการทดสอบพบว่าเวลาที่ใช้ในการแสดงผล แปรผันไปตามปริมาณจุดภาพที่ครอบคลุมในบริเวณรูปกรวย จึงทำการวัดผล และทดสอบอีกครั้งด้วยการปรับขยายภาพให้ขอบกรวยใหญ่พ้นขอบภาพที่แสดงผลออกไปดังรายงานผลไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณจุดภาพในพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมด้วยรูปกรวยที่แสดงผลเท่ากันจะส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลภาพเท่ากันไม่ขึ้นกับปริมาณจุดภาพในข้อมูลสี่มิติ ถัดมาจึงทำการวัดผลด้วยการขยายภาพระนาบตัดขวางให้รูปกรวยมีขนาดต่างๆ กันแสดงความถี่ในการแสดงผลไว้ในแผนภูมิดังรูปที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการแสดงผลของการขยายภาพให้ถูกประมวลผลทั้ง 1024 x 768 จุดสามารถทำความเร็วโดยประมาณได้ทัน 30 ภาพต่อวินาที



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ในการแสดงผลกับปริมาณจุดภาพในรูปกรวย

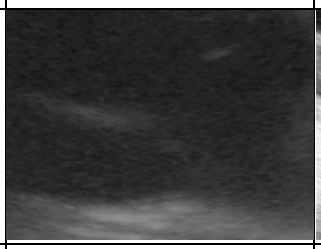
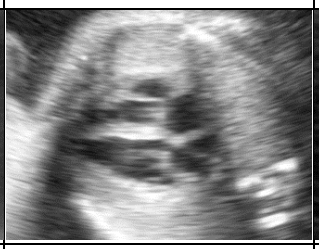
ตารางที่ 4.3 ความถี่ในการแสดงผลของข้อมูลตัวอย่าง และปริมาณจุดภาพที่อยู่ในพื้นที่รูปกรวย

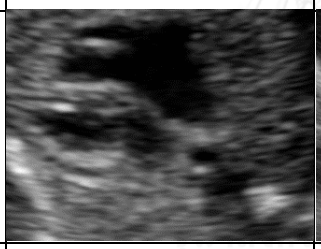
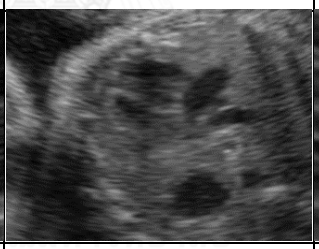
ลำดับที่	1	2	3
ภาพแสดงผล			
ความถี่	89.02	84.57	122.18
จุดภาพ	173949	192908	82233

ลำดับที่	4	5	6
ภาพแสดงผล			
ความถี่	151.84	72.42	134.63
จุดภาพ	34305	254100	59294

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 ความถี่ในการแสดงผลของข้อมูลตัวอย่าง
ที่ขยายพื้นที่รูปกรวยให้ครอบคลุมเต็มกรอบแสดงผล

ลำดับที่	1	2	3
ภาพแสดงผล			
ความถี่ 5 ครั้ง	31.5747 31.5937 31.5937 31.5684 31.5937	31.4678 31.4741 31.4804 31.4741 31.4804	31.5684 31.5684 31.5684 31.5937 31.5684

ลำดับที่	4	5	6
ภาพแสดงผล			
ความถี่ 5 ครั้ง	31.4616 31.4616 31.4678 31.4616 31.4553	32.5544 32.5349 32.3160 32.5544 32.6758	31.5369 31.6292 31.6670 31.6607 31.6733

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 การประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คนด้วยแบบสอบถามที่แนบไว้ในภาคผนวก ทำการเฉลี่ยและรายงานไว้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 โดยในตารางที่ 4.5 รายงานการประเมินผลแบบในภาพรวมและแบบการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบที่แต่ละรายการจะถูกประเมินตั้งแต่ 1 คะแนน (แย่ที่สุด) ไปถึง 10 คะแนน (ดีที่สุด) และตารางที่ 4.6 รายงานการประเมินผลแบบฮิวริสติกที่แต่ละรายการจะถูกประเมินในรูปแบบนิเสธตั้งแต่ 1 คะแนน (ดีที่สุด) ไปถึง 5 คะแนน (แย่ที่สุด)

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินแบบภาพรวม
และแบบการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ

ข้อที่	รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย
1	จากซอฟต์แวร์ต้นแบบที่ท่านได้ทดลองใช้ หากแบ่งลำดับการให้คะแนนการประเมินความพึงพอใจต่อความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ ท่านจะให้ผลการประเมินเป็นคะแนนในระดับใด	8.6
การประเมินผลรวม / การประเมินเปรียบเทียบ (Summative/Comparative Evaluation)		
2.1	จงให้คะแนนภาพอัลตราซาวด์ว่าสามารถนำไปใช้ในการฝึกจริงได้หรือไม่ ระดับใด	9.4
2.2	จงให้คะแนนความสอดคล้องของหัวตรวจจำลองกับการแสดงภาพอัลตราซาวด์	9.4
2.3	จงให้คะแนนว่าการแสดงภาพโมเดลสามมิติของทารกในครรภ์ด้านข้างการแสดงภาพอัลตราซาวด์สามารถช่วยในการฝึกหรือไม่ ระดับใด	9.4
2.4	จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนบันทึกภาพระนาบตัดขวางว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่	9.2
2.5	จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนเรียกดูและแก้ไขว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่	9.2
	คะแนนเฉลี่ยของการประเมินผลรวม / การประเมินเปรียบเทียบ	9.32

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินตามรูปแบบการประเมินผลแบบฮิวริสติกของ Nielsen (1994)

ข้อที่	รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย
3.1	ผู้ใช้ไม่ทราบถึงขั้นตอนปัจจุบันของการใช้งาน สับสนว่าตนกำลังสั่งการอะไรในแต่ละขณะ	1.4
3.2	รูปแบบการใช้งานไม่สอดคล้องกับการตรวจจริง ไม่สามารถทำความเข้าใจ โดยนึกคิดจากระบบการตรวจจริงได้	1.2
3.3	ไม่สามารถแก้ไขหรือย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนใดๆ เพื่อแก้ไขการสั่งการที่ผู้ใช้สั่งผิดพลาดได้	1.2
3.4	ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพ และการแสดงผล ไม่มีความสอดคล้องกัน	1.4
3.5	มีข้อผิดพลาดของซอฟแวร์ปรากฏระหว่างการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ไม่ตอบสนองตามที่สั่งการ	1.4
3.6	ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการในขั้นตอนต่างๆ และการจัดวางวัตถุมีลักษณะซับซ้อน จดจำการสั่งการได้ลำบาก	1.6
3.7	ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการเพื่อฝึกหัดในขั้นตอนต่างๆ ขาดวิธีลัดในการสั่งการ เช่น การใช้คีย์บอร์ดแทนเมาส์	1.4
3.8	ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพและการแสดงผล ไม่มีความพอดี (ปริมาณมากหรือน้อยเกินไป) หรือไม่มีความเหมาะสม	1.2
3.9	เมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น (ทั้งจากการใช้งาน และข้อผิดพลาดของโปรแกรม) แล้ว โปรแกรมไม่ได้แนะนำวิธีการแก้ปัญหาให้กับผู้ใช้ หรือมีรหัสคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้อธิบายสาเหตุของปัญหา	2.2
3.10	การอบรม หรือเอกสารประกอบ ไม่เพียงพอต่อการทำความเข้าใจวิธีการใช้งาน	1.2
คะแนนเฉลี่ย		1.42

4.4 อภิปรายผลการทดลอง

จากรายงานการทดสอบ และการประเมินผล ผู้วิจัยพิจารณาผลการประเมินทั้งเชิงปริมาณ (Quantitative) และเชิงคุณภาพ (Qualitative)

เริ่มต้นที่ส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางที่พัฒนาขึ้นในส่วนคุณภาพของผลลัพธ์ที่เปรียบเทียบกับการแสดงผลของซอฟต์แวร์ 4D View ภาพผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบมีความใกล้เคียงกันมาก หากสังเกตรายละเอียดด้วยตาเปล่าแล้วจะพบว่าให้รายละเอียดได้เช่นเดียวกันกับภาพต้นแบบ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเปรียบเทียบในตารางที่ 4.5 ข้อ 2.1 ว่าภาพตัดขวางอัลตราซาวด์สามารถนำไปใช้ในการฝึกได้จริง ในส่วนการประเมินความถี่ในการประมวลผลภาพสามารถทำความถี่ได้สูงกว่า 30 ภาพต่อวินาที ด้วยคอมพิวเตอร์พกพาที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์แบบอินทิเกรตในปี 2011 และปริมาณของ

จุดภาพของข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติจากข้อมูลตัวอย่างในช่วง 17 - 131 ล้านจุดภาพ ที่อัพโหลดไว้ในหน่วยความจำของหน่วยประมวลผลกราฟิกไม่ได้ส่งผลต่อความถี่ที่ใช้ในการแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญ

ถัดมาสำหรับการประเมินความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ที่เป็นการประเมินผลซอฟต์แวร์ประยุกต์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจากตารางที่ 4.5 ผู้ประเมินมีความพึงพอใจโดยรวมที่ดีต่อซอฟต์แวร์โดยมีค่าเฉลี่ยรวมในข้อ 1 อยู่ที่ 8.6 คะแนน สอดคล้องกับการประเมินผลแบบเปรียบเทียบที่ผู้ประเมินให้คะแนนระหว่าง 9.2 ถึง 9.4 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน และการประเมินผลแบบฮิวริสติกที่คิดคะแนนแบบนิเสธที่แสดงถึงปัญหาที่พบเพียง 1.42 คะแนนจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน

ในการประเมินผลแบบเปรียบเทียบนั้นผู้ประเมินมีความพึงพอใจต่อการนำไปใช้ฝึกได้จริงในการประเมินผลข้อที่ 2.1 - 2.3 (ค่าเฉลี่ย 9.4 ทั้งสามข้อ) นั้นคือในส่วนของภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ ความสอดคล้องในการเคลื่อนไหวของหัวตรวจจำลองและภาพอัลตราซาวด์และภาพโมเดลสามมิติของทารกในครรภ์ซึ่งอยู่ในตำแหน่งข้างภาพอัลตราซาวด์ โดยที่ข้อที่ 2.4 - 2.5 ผู้ใช้มีความพอใจต่อการนำไปใช้ฝึกได้จริงที่ดีในระดับรองลงมา (ค่าเฉลี่ย 9.2 ทั้งสองข้อ) นั้นคือส่วนบันทึกภาพระนาบตัดขวาง และส่วนเรียกดูและแก้ไข เมื่อพิจารณาร่วมกับความคิดเห็นปลายเปิดพบว่าข้อเสนอแนะเป็นไปในทิศทางบวกเช่นเดียวกับคะแนนเชิงปริมาณ ความคิดเห็นอันหนึ่งระบุว่าซอฟต์แวร์นี้เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยผู้เริ่มฝึกหัดการตรวจคัดกรองหัวใจทารกในครรภ์ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ให้มีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือก่อนทำการทดลองฝึกหัดกับเครื่องมือจริง ความคิดเห็นอีกอันหนึ่งระบุว่าซอฟต์แวร์มีความสอดคล้องของภาพดีมาก และอีกความคิดเห็นระบุว่าภาพที่แสดงในซอฟแวร์มีความไวต่อการเคลื่อนไหวดีเมื่อทดลองใช้ร่วมกับหัวตรวจ

ในการประเมินผลแบบฮิวริสติกดังรายงานไว้ในตารางที่ 4.6 ที่คิดคะแนนแบบนิเสธที่กำหนดช่วงคะแนนจาก 1 คะแนน (ไม่พบว่าเป็นปัญหา) ถึง 5 คะแนน (พบปัญหาและเป็นอุปสรรค

ต่อการใช้งาน) พบว่ามีช่วงคะแนนตั้งแต่1.2 ถึง 2.2 คะแนน โดยข้อที่ผู้ทำการประเมินให้คะแนนต่ำสุดได้แก่ ข้อที่ 3.9 เมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น (ทั้งจากการใช้งาน และข้อผิดพลาดของโปรแกรม) แล้วโปรแกรมไม่ได้แนะนำวิธีการแก้ปัญหาให้กับผู้ใช้ หรือมีรหัสคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้อธิบายสาเหตุของปัญหา โดยมีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.2 อย่างไรก็ตามการพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงรายละเอียดของการควบคุมปัญหาในการพัฒนาซอฟต์แวร์ จึงข้ามการพิจารณาในข้อนี้ ถัดรองลงมาที่เป็นปัญหาคือข้อที่ 3.6 มีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.6 คะแนน สอดคล้องกับความคิดเห็นปลายเปิดที่สนับสนุนให้วิจัยพัฒนาต่อเติมเน้นปรับปรุงเรื่องการควบคุมปริภูมิสามมิติด้วยเมาส์

ในการประเมินผลแบบฮิวริสติกในข้อที่เหลือผู้วิจัยจัดให้ผลคะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นคือในกลุ่มของข้อที่ได้คะแนนเฉลี่ย 1.2 - 1.4 คะแนน โดยในกลุ่มที่ได้คะแนนเฉลี่ย 1.2 คะแนน ประกอบไปด้วย ความสอดคล้องและทำความเข้าใจกับการตรวจจริง ผู้ใช้สามารถแก้ไขการสั่งการที่ผิดพลาด ปริมาณของข้อความและภาพประกอบที่เป็นองค์ประกอบส่วนประสานของผู้ใช้มีความพอดี และมีเอกสารที่เพียงพอ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำได้ดีแล้ว ถัดมาในกลุ่มที่ได้คะแนนเฉลี่ย 1.4 คะแนน ประกอบไปด้วยการรับรู้สถานะปัจจุบันในการใช้งาน ความสอดคล้องขององค์ประกอบส่วนประสานผู้ใช้ ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการใช้งาน และวิธีลัดในการสั่งการ ซึ่งสำหรับการรับรู้สถานะปัจจุบันและความสอดคล้องขององค์ประกอบส่วนประสานผู้ใช้ มีความสอดคล้องกับความคิดเห็นที่ระบุว่าควรพัฒนาฮาร์ดแวร์ที่เป็นปุ่มที่ใช้ในการขยาย เลื่อน หยุด ออกจากคีย์บอร์ดที่ใช้พิมพ์ตัวอักษร เพื่อความสะดวกในการใช้งานโดยไม่ต้องจดจำคำสั่งเพิ่มเติมให้มีความคลึงกับการใช้งานเครื่องอัลตราซาวด์จริง ผู้วิจัยสนับสนุนประเด็นนี้ว่าควรปรับปรุงส่วนประสานงานผู้ใช้ให้มีการศึกษาลักษณะของปุ่มสั่งการจากเครื่องจริงเนื่องจากหากทำเป็นฮาร์ดแวร์จะไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้อย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้ในส่วนของการแสดงความคิดเห็นปลายเปิด ผู้ประเมินเสนอให้เพิ่มเติมคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ ให้สามารถปรับท่าทางการนอนของทารกในครรภ์ได้ และให้เพิ่มเติม

จัดการสิทธิ์ผู้ใช้งานอย่างเป็นระบบเช่นการจัดการผู้ใช้งานแบ่งแพทย์ผู้เชี่ยวชาญออกจากผู้ฝึกตรวจ และจำกัดสิทธิ์อย่างชัดเจนเพื่อให้มีความสมบูรณ์ในการนำไปฝึกหัดใช้จริงในทางปฏิบัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เราได้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการฝึกหัดตรวจหัวใจตามเกณฑ์คัดกรองที่ทำเทียมขึ้นทั้งระบบและใช้ข้อมูลดิจิทัลโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยทั้งอุปกรณ์ตรวจจริงและคนไข้จริงในขณะฝึกโดยอาศัยของการพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้การได้ในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้สามารถนำไปแจกจ่ายและติดตั้งได้อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มโอกาสในการฝึกหัดโดยเราแบ่งคุณลักษณะสำคัญร่วมกันของระบบจำลองการฝึกหัดที่ค้นคว้าออกเป็นสามส่วนคือแบบจำลองหัวใจคนไข้ การเคลื่อนขยับหัวตรวจ และการแสดงผลภาพตามระนาบตัดขวางของหัวตรวจจากแบบจำลองหัวใจ

สำหรับแบบจำลองหัวใจเราได้พิจารณาร่วมกับการแสดงผลเนื่องจาก ความสัมพันธ์กันในวิธีระหว่างการจัดเก็บข้อมูลและการเรียกขึ้นมาแสดงผลโดยเราใช้วิธีในการดึงข้อมูลจากอุปกรณ์อัลตราซาวด์โดยตรง ขึ้นมาจัดเก็บเป็นข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ (ปริมาตรสามมิติ และเวลา) เนื่องจากสามารถเตรียมข้อมูลได้เพียงการบันทึกภาพจากผลการตรวจจากคนไข้ได้ ซึ่งตัวข้อมูลสามารถบันทึกเป็นภาพปริมาตรที่เคลื่อนไหว และเรามีเป้าหมายที่จะพัฒนาต่อเติมนั่นจะต้องพัฒนาให้รองรับการใช้ข้อมูลสี่มิติมาแสดงผลให้เห็น ความเคลื่อนไหวของหัวใจได้ตามที่ต้องใช้ในเกณฑ์คัดกรองและให้ยังคงใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ทฤษฎีและแนวคิดหลักในส่วนนี้คือการแสดงผลทรีดีเซอร์เฟสคู่กับการแสดงผลภาพตัดขวางเพื่อเสริมความเข้าใจ และวิธีการประมวลผลที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เป็นต้น

สำหรับส่วนการเคลื่อนขยับหัวตรวจ เราเน้นการพัฒนาที่ตัวซอฟต์แวร์เป็นสำคัญ จะต้องมีการรองรับการขยับพื้นฐานเช่นใช้เมาส์ และมีช่องทางในการพัฒนาให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หัวตรวจเทียมที่เป็นฮาร์ดแวร์ ซึ่งเราจำลองการจัดวางของวัตถุที่คำนึงถึงในการฝึกตรวจเพื่อใช้

จำลองการจัดวางหัวตรวจจากการฝึก และหัวใจของทารกเพื่อให้แสดงผลในส่วนแสดงผลได้สอดคล้องกัน

เมื่อเราทราบถึงลักษณะของระบบจำลองการฝึกตรวจพร้อมแนวคิดที่มีอยู่สำหรับการฝึกหัดตรวจหัวใจแล้ว จึงพัฒนาลักษณะของซอฟต์แวร์จำลองการฝึกตรวจให้เหมาะสมกับการฝึกหัวตรวจโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดตามเกณฑ์คัดกรอง เริ่มต้นจากการทำความเข้าใจปัญหา และการกำหนดหน้าที่ของซอฟต์แวร์ในระหว่างการออกแบบร่วมกับโรงพยาบาลในท้องถิ่นให้สอดคล้องกับการฝึกหัดการตรวจจริง การสร้างแบบฝึกหัดจากการนำเข้าข้อมูลอัลตราซาวด์ปริมาตรหัวใจ การทำแบบฝึกหัดที่ต้องมีการจัดวางหัวตรวจและบันทึกภาพระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรอง และลักษณะของข้อมูลและการแสดงผลที่จำเป็นต่อการตรวจคัดกรอง นั่นคือจะต้องสามารถสังเกตลักษณะรูปทรงและการเคลื่อนไหวของหัวใจทารกจากภาพระนาบตัดขวางตามการจัดวางของหัวตรวจได้

งานวิจัยนี้ได้นำซอฟต์แวร์ที่ออกแบบไปพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ต้นแบบบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และทดสอบใช้งานจริง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองประเด็นหลักคือ การแสดงผลระนาบตัดขวางที่พัฒนาขึ้น และความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ในการทดสอบการแสดงผลระนาบตัดขวางได้ทำการทดสอบข้อผิดพลาดการแสดงผลของภาพอัลตราซาวด์โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณความต่างกับภาพที่แสดงผลจากซอฟต์แวร์สำหรับจัดการภาพเชิงพาณิชย์ 4D View และคำนึงถึงความถี่ในการแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้แบบเรลไทม์ พบว่าความแตกต่างของภาพมีความ คลาดเคลื่อนจากภาพต้นแบบน้อยโดยไม่มีนัยสำคัญ และแสดงผลด้วยความถี่สูงกว่า 30 ภาพต่อวินาที ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแบบพกพาในปัจจุบัน

ในการการทดสอบความสมบูรณ์ในภาพรวมของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ได้มีการยึดแบบประเมินการใช้งานแบบฮิวริสติก 10 ข้อของนิลสัน การประเมินในลักษณะการประเมินผลรวมหรือการประเมินเปรียบเทียบ การให้คะแนนในภาพรวม และการแสดงความคิดเห็นปลายเปิด มาใช้ใน

การวัดความสมบูรณ์จากประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ตรวจจริง ซึ่งคะแนนการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ในภาพรวมที่ได้ผล 8.6 จาก 10 คะแนน แสดงให้เห็นถึงผลตอบรับจากผู้ใช้งานที่ดี สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของผลการประเมินเปรียบเทียบ และในการประเมินผลแบบฮิวริสติก

ผู้ประเมินมีความพึงพอใจต่อการนำไปใช้ฝึกได้จริงในส่วนที่ลงรายละเอียดพัฒนานั่นคือการแสดงผลภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ที่สอดคล้องกับการจัดวางหัวตรวจที่จำลองขึ้นประกอบกับการแสดงผลภาพอธิบายประกอบการจัดวาง อย่างไรก็ตามจากการประเมินผลในข้ออื่นๆ และการประเมินผลแบบฮิวริวติกที่สอดคล้องกับข้อเสนอความเห็นปลายเปิดจากผู้ประเมินชี้ให้เห็นความสำคัญในการวิจัยพัฒนาต่อเติมเน้นปรับปรุงเรื่องการควบคุมปริภูมิสามมิติด้วยเมาส์และให้ออกแบบการสั่งการให้สอดคล้องกับเครื่องตรวจอัลตราซาวด์จริง ซึ่งผู้เขียนเห็นด้วยในการเลือกพัฒนาวิธีการปฏิสัมพันธ์ด้วยเมาส์และการสั่งการให้เกิดประสบการณ์ใช้งานที่ใกล้เคียงกับการตรวจด้วยอุปกรณ์จริงมากขึ้นเป็นสำคัญต่อการฝึกหัด

ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของการศึกษาส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์จากข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติ ยังมีประเด็นที่น่าสนใจที่สามารถพัฒนาต่อเติมเพื่อให้ประสบการณ์ตรวจที่สมจริงมากขึ้นกับผู้ฝึก การพัฒนาต่อในประเด็นหลักของการพัฒนาส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการต่อเติมเพื่อรองรับข้อมูลอัลตราซาวด์ที่มีปริมาณจุดภาพมากขึ้นจะเปิดโอกาสทั้งต่อการฝึกการตรวจหัวใจทารกในครรภ์และการตรวจอัลตราซาวด์อื่นๆ ที่ต้องสังเกตระนาบตัดขวางจากข้อมูลปริมาตรขนาดใหญ่ ในกรณีของการตรวจหัวใจทารกในครรภ์คือ การที่ผู้ฝึกตรวจจะสามารถสังเกตบริเวณรอบๆ หรือการเต้นของหัวใจที่ไม่ได้บันทึกเป็นภาพวนซ้ำต่อเนื่องเพียงช่วงครบรอบเต้นของหัวใจ โดยข้อมูลอัลตราซาวด์ที่นำเข้ามาใช้อาจสร้างขึ้นจากการต่อข้อมูลของปริมาตรอัลตราซาวด์หลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกันด้วยวิธีในการเตรียมข้อมูลเช่น ที่ทำกับข้อมูลอัลตราซาวด์สามมิติในงานวิจัยของ Aiger และ Cohen-Or (1998) และของ Kutarnia และคณะ

(2010) หรือการรองรับข้อมูลของอุปกรณ์อัลตราซาวด์จริงที่สามารถบันทึกปริมาตรที่ใหญ่กว่าอุปกรณ์ตรวจ Voluson E8 ของทางโรงพยาบาล เป็นต้น

นอกจากนี้การแสดงผลระนาบตัดขวางในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการประมวลผลได้ด้วยการเตรียมข้อมูลด้วยการแปลงข้อมูลอัลตราซาวด์สี่มิติให้อยู่ในรูปแบบพิกัดฉากเป็นการเริ่มต้น หรืออาจใช้วิธีการบันทึกข้อมูลการแปลงไว้ก่อนเป็นตารางล่วงหน้า (lookup table) ซึ่งขจัดการประมวลผลการแปลงพิกัดทรงกลมที่เกิดขึ้นทุกๆ ภาพที่ไม่จำเป็น ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้ผู้วิจัยคาดหวังการประยุกต์ใช้นี้ให้สามารถนำไปพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ฝึกหัดใช้ในลักษณะที่เข้าถึงได้สะดวกยิ่งขึ้นเช่น การประยุกต์ใช้บนอุปกรณ์แทปเล็ตพีซี (tablet-pc) หรือการประยุกต์ใช้ผ่านเทคโนโลยีเว็บแอพลิเคชัน เป็นต้น ซึ่งจะให้ความคล่องตัวต่อการแจกจ่ายอุปกรณ์ในชั้นเรียนและพกพาสะดวกยิ่งขึ้น

ในส่วนของปัญหาการจัดวางวัตถุด้วยเมาส์ในการพัฒนาภาพรวมของซอฟต์แวร์ประยุกต์จากการปรึกษากับแพทย์ผู้ประสานงานระบุความเป็นไปได้เกี่ยวกับการจัดวางวัตถุในปริภูมิสามมิติโดยยกตัวอย่างเกี่ยวกับการทำความเข้าใจจากจุดกำหนด (landmark) ในอวัยวะเช่น การทำความเข้าใจระนาบตัดขวางจากการสังเกตกระดูกสันหลังของทารก เนื่องจากกระดูกสันหลังเป็นรูปทรงที่สามารถทำความเข้าใจและสังเกตได้ง่าย จึงสามารถหาระนาบตัดขวางจากการจัดวางหัวตรวจได้โดยสะดวก จะเหมาะแก่การนำไปใช้จัดวางข้อมูลอัลตราซาวด์หัวใจลงใจการจัดวางของทารกที่จำลองขึ้น

ผู้วิจัยทราบจากประสบการณ์ว่าซอฟต์แวร์สามารถพัฒนาส่วนจัดวางให้มีความสอดคล้องกับการจัดวางวัตถุแข็งเกร็งในกายภาพมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การลดขั้นตอนการเลือกการจัดวางจากรายการที่เป็นลำดับขั้นที่พัฒนาในซอฟต์แวร์ต้นแบบให้เป็นการเลือกวัตถุที่ต้องการจัดวางโดยตรงจากปริภูมิ (direct object picking) การออกแบบส่วนประสานที่เป็นปุ่มควบคุมที่ปฏิสัมพันธ์จากในปริภูมิสามมิติโดยตรงในลักษณะเดียวกับซอฟต์แวร์สำหรับงานออกแบบ (computer-aided design) เป็นต้น เพื่อการปฏิสัมพันธ์ที่ให้ความคุ้นเคยและลดขั้นตอนให้กับผู้ใช้

ซอฟต์แวร์ และเพื่อความสอดคล้องกับวิชาประสบการณ์ของสูตินรีแพทย์ การศึกษาและพัฒนาการจัดวางวัตถุจึงควรทำควบคู่กันกับทฤษฎีเกี่ยวกับการสังเกตองค์ประกอบของอวัยวะในระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ที่แพทย์ใช้ในการทำความเข้าใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ACHERMAN, R. J., EVANS, W. N., LUNA, C. F., ROLLINS, R., KIP, K. T., COLLAZOS, J. C., RESTREPO, H., ADASHECK, J., IRIYE, B. K., ROBERTS, D. & SACKS, A. J. 2007. Prenatal detection of congenital heart disease in southern Nevada: the need for universal fetal cardiac evaluation. *J Ultrasound Med,* 26, 1715-9; quiz 1720-1.

AIGER, D. & COHEN-OR, D. 1998. Real-Time Ultrasound Imaging Simulation. *Real-Time Imaging,* 4, 263-274.

BETTINA, F. C., LETITIA, F. C., NANCY, D. & HAIM, E. 2004. Trends in Prenatal Diagnosis of Critical Cardiac Defects in an Integrated Obstetric and Pediatric Cardiac Imaging Center. *Journal of Perinatology,* 24, 674-678.

BLUEPHANTOM™. 2012. CAE Healthcare. Available: www.bluephantom.com/category/Shop-By-Specialty_Cardiology.aspx [Accessed,May 26 2012].

BOWMAN, D. A., KRUIJFF, E., LAVIOLA JR, J. J. & POUPYREV, I. 2004. *3D user interfaces: theory and practice*, Addison-Wesley.

BREDTHAUER, G. R. & VON RAMM, O. T. Interactive rendering of real-time volumetric ultrasound images. Biomedical Imaging: Nano to Macro, 2004. IEEE International Symposium on, 15-18 April 2004 2004. 524-526 Vol. 1.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION 2007. Hospital stays, hospital charges, and in-hospital deaths among infants with selected birth defects--United States, 2003. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep,* 56, 25-9.

DILLENSEGER, J.-L., LAGUITTON, S. & DELABROUSSE, É. 2009. Fast simulation of ultrasound images from a CT volume. *Computers in Biology and Medicine,* 39, 180-186.

EIK-NES, S., LEE, W., CARVALHO, J. S., CHAOUI, R., COPEL, J., HECHER, K. & PALADINI, D. 2006. Cardiac screening examination of the fetus: guidelines for performing the 'basic' and 'extended basic' cardiac scan. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology,* 27, 107-113.

FORD, S. T., VIOLA, I., BRUCKNER, S., TORP, H. & KISS, G. 2012. HeartPad: real-time visual guidance for cardiac ultrasound. *Proceedings of the Workshop at SIGGRAPH Asia.* Singapore, Singapore: ACM.

FREEMAN, J., MCVAY, C., DESYLVA, C., GIMENEZ, L. & SHAH, K. 2009. *Intel Graphics Media Accelerator Developer's Guide* [Online]. Available: https://software.intel.com/sites/default/files/m/d/4/1/d/8/Intel_Integrated_Graphics_Performance_Developer_s_Guide_v2.6.7.pdf [Accessed March 2012].

HEARTWORKS. 2012. *HeartWorks* [Online]. Available: www.heartworks.me.uk [Accessed June 3 2012].

KATIC, S. 2009. *Interactive Techniques in Three-dimensional Scenes* [Online]. Available: http://www.codeproject.com/Articles/35139/Interactive-Techniques-in-Three-dimensional-Scenes [Accessed March 2014].

KAUFMAN, A., DACHILLE, F., CHEN, B., BITTER, I., KREEGER, K., ZHANG, N., TANG, Q. & HUA, H. 2000. Real-time volume rendering. *International Journal of Imaging Systems and Technology,* 11, 44-52.

KOHN, S., LENGEN, R. H. V., REIS, G., BERTRAM, M. & HAGEN, H. 2004. Ves: Virtual Echocardiography System. *Fourth IASTED International Conference on Visualization.* Bellingham: ACTA Press.

KUO, J., BREDTHAUER, G. R., CASTELLUCCI, J. B. & VON RAMM, O. T. 2007. Interactive volume rendering of real-time three-dimensional ultrasound images. *Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, IEEE Transactions on,* 54, 313-318.

KUTARNIA, J. F., PEDERSEN, P. C. & YUAN, C. Virtual reality training system for diagnostic ultrasound. Ultrasonics Symposium (IUS), 2010 IEEE, 11-14 Oct. 2010 2010. 1652-1656.

LEE, W., ALLAN, L., CARVALHO, J. S., CHAOUI, R., COPEL, J., DEVORE, G., HECHER, K., MUNOZ, H., NELSON, T., PALADINI, D. & YAGEL, S. 2008. ISUOG consensus statement: what constitutes a fetal echocardiogram? *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology,* 32, 239-242.

LEFOHN, A., KNISS, J. & OWENS, J. 2005. Implementing Efficient Parallel Data Structures on GPUs. *GPU Gems,* 2, 521–545.

LITTLEFIELD, R. J., MACEDONIA, C. R. & COLEMAN, J. D. MUSTPAC™ 3-D ultrasound telemedicine/telepresence system. Ultrasonics Symposium, 1998. Proceedings., 1998 IEEE, 1998 1998. 1669-1675 vol.2.

MEDSIM. 2012. *MedSim | Advanced Ultrasound Simulation* [Online]. Ra'anana: David Casirer. Available: www.medsim.com [Accessed April 23 2012].

NIELSEN, J. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, 1994. ACM, 152-158.

NIELSEN, J. & LANDAUER, T. K. 1993. A mathematical model of the finding of usability problems. *Proceedings of the INTERCHI '93 conference on Human factors in computing systems.* Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.

REICHL, T., PASSENGER, J., ACOSTA, O. & SALVADO, O. Ultrasound goes GPU: real-time simulation using CUDA. 2009. 726116-726116-10.

RYCHIK, J., AYRES, N., CUNEO, B., GOTTEINER, N., HORNBERGER, L., SPEVAK, P. J. & VAN DER VELD, M. 2004. American society of echocardiography guidelines and standards for performance of the fetal echocardiogram. *Journal of the American Society of Echocardiography,* 17, 803-810.

SARACINO, G., GREENBERG, N. L., SHIOTA, T., CORSI, C., LAMBERTI, C. & THOMAS, J. D. Fast interactive real-time volume rendering of real-time three-dimensional echocardiography: an implementation for low-end computers. Computers in Cardiology, 2002, 22-25 Sept. 2002 2002. 613-616.

SEGAL, M., AKELEY, K., FRAZIER, C., LEECH, J. & BROWN, P. 2009. The OpenGL graphics system: A specification (version 3.1).

SHAKIL, O., MAHMOOD, F. & MATYAL, R. 2012. Simulation in Echocardiography: An Ever-Expanding Frontier. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia,* 26, 476-485.

SKEHAN, D. P. 2011. *Virtual training system for diagnostic ultrasound.* Worcester Polytechnic Institute.

SUMANAWEERA, T. 2004. Applying real-time shading to 3D ultrasound visualization. *GPU Gems*, 693-707.

T4CFANTASY. 2014. *GPU Database* [Online]. Available: http://www.techpowerup.com/gpudb/ [Accessed March 2014].

TAYLOR, P. 2014. *OpenGL capabilities database* [Online]. Available: http://feedback.wildfiregames.com/report/opengl/ [Accessed March 2014].

TEGNANDER, E. & EIK-NES, S. H. 2006. The examiner's ultrasound experience has a significant impact on the detection rate of congenital heart defects at the second-trimester fetal examination. *Ultrasound Obstet Gynecol,* 28, 8-14.

VIMEDIX. 2012. *CAE Healthcare: VIMEDIX* [Online]. Available: www.caehealthcare.com/eng/ultrasound-simulators/vimedix [Accessed June 3 2012].

WEIDENBACH, M., WICK, C., PIEPER, S., QUAST, K. J., FOX, T., GRUNST, G. & REDEL, D. A. 2000. Augmented reality simulator for training in two-dimensional echocardiography. *Comput. Biomed. Res.,* 33, 11-22.

WRIGHT, R., HAEMEL, N., SELLERS, G. M. & LIPCHAK, B. 2010. *OpenGL SuperBible: comprehensive tutorial and reference*, Pearson Education.

WRIGHT, S. 2011. Modelling transoesophageal echo. *Aswan Heart Centre Science & Practice Series,* 2011, 2.

YUAN, P., GREEN, M. & LAU, R. W. H. 1997. A framework for performance evaluation of real-time rendering algorithms in virtual reality. *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology.* Lausanne, Switzerland: ACM.

ชลทิตย์ ประทีปมโนวงศ์. 2556. การออกแบบระบบจำลองอัลตร้าซาวน์เพื่อใช้ในการฝึกหัดแพทย์ในการตรวจหัวใจของทารกในครรภ์ ต้นทุนต่ำและพกพาสะดวก. ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิบูลย์ ลีละพัฒนะ 2004. เวชศาสตร์ทารกในครรภ์. โรงพยาบาลวิชัยยุทธ วิชัยยุทธจุลสาร ฉบับที่ *28*. กรุงเทพฯ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
คู่มือการติดตั้งและใช้งานซอฟต์แวร์ฝึกตรวจหัวใจทารกในครรภ์

ความต้องการขั้นต่ำของระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

- ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP / Vista / 7 / 8 / 10
- หน่วยประมวลผลกราฟิกที่รองรับส่วนประสานประยุกต์ OpenGL 3 (เทียบเท่าได้กับ DirectX 10) พร้อมหน่วยความจำขนาด 256 เมกะไบต์
- จอแสดงผลจุดภาพขนาด 1280x800 ด้วยระดับสี 24 บิต
- เมาส์ และคีย์บอร์ด

การติดตั้ง

ในการติดตั้งใช้งานจะต้องทำการติดตั้ง Microsoft Visual C++ Redistributable Package 2013 ก่อนจากไฟล์ติดตั้ง vcredist_x86.exe จากนั้นเพียงคัดลอกไฟล์ของซอฟต์แวร์ลงสู่คอมพิวเตอร์ในไดเรกทอรีที่ผู้ใช้สามารถอ่านและเขียนไฟล์ได้ก็จะสามารถเปิดใช้งานได้ทันที

ไฟล์และโครงสร้างไดเรกทอรีสำหรับการใช้งาน

- **fetalEchoUS.exe**

  ไฟล์เปิดใช้งานโปรแกรม

- **saves/**

  ตำแหน่งของบันทึกไฟล์อัลตราซาวด์ (.vol) ไฟล์แบบฝึกหัด (.upsexa) และไฟล์ผลการฝึกตรวจ (.upsans)

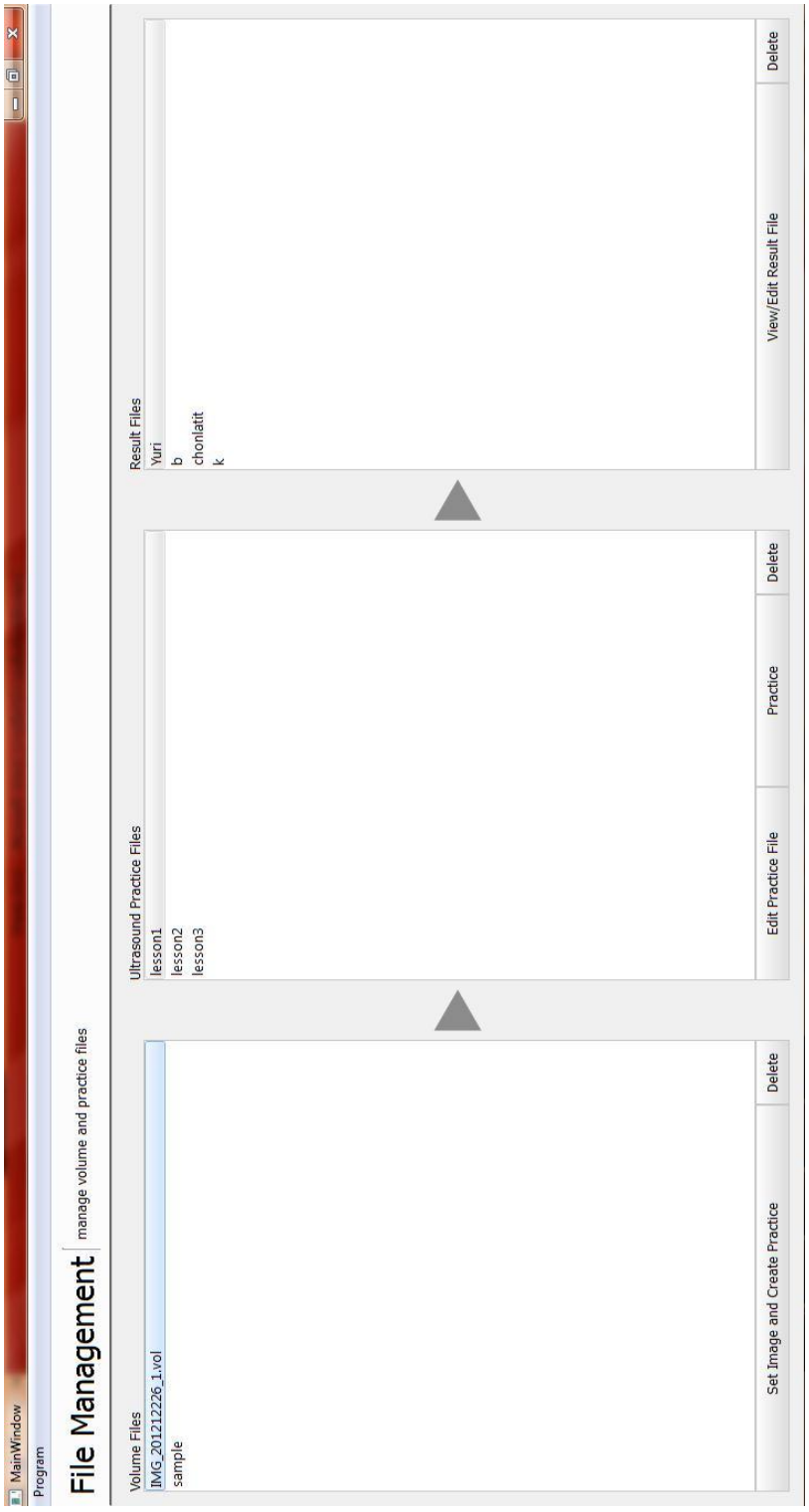
- **scripts/probe_launcher**

  ตำแหน่งสำหรับติดตั้งโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับหัวตรวจที่เป็นฮาร์ดแวร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

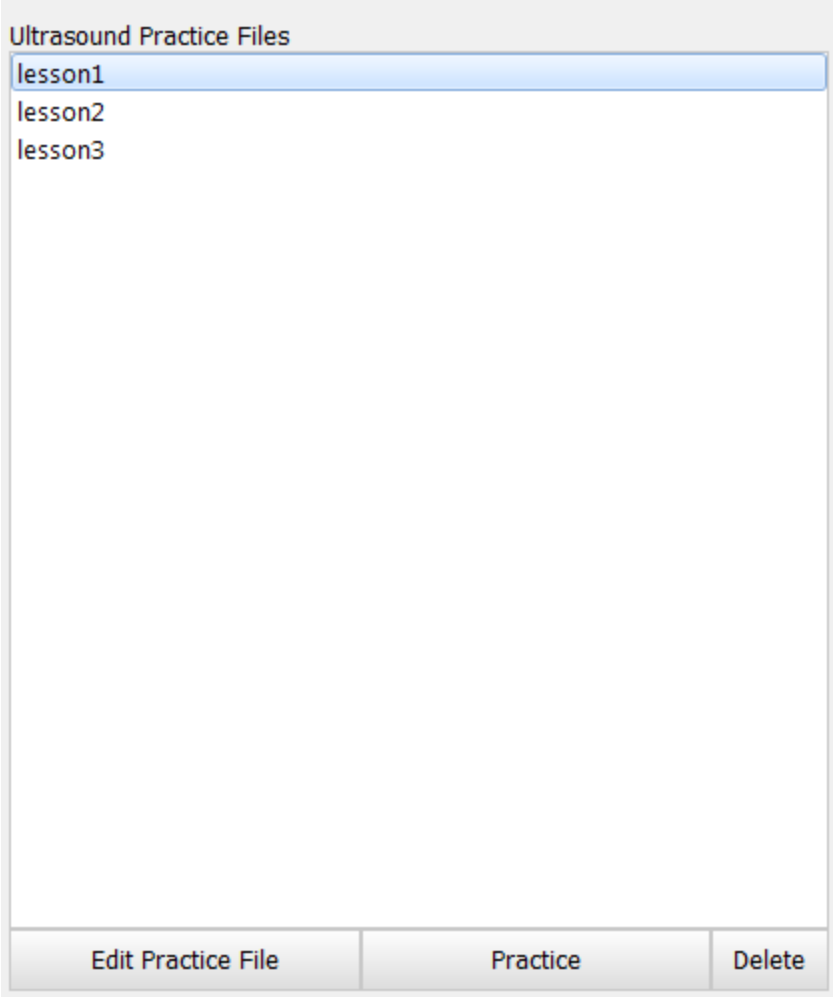
- <u>การใช้งานซอฟต์แวร์</u>

1. เปิดโปรแกรมจากไฟล์ fetalEchoUS.exe จะได้หน้าจอโปรแกรม



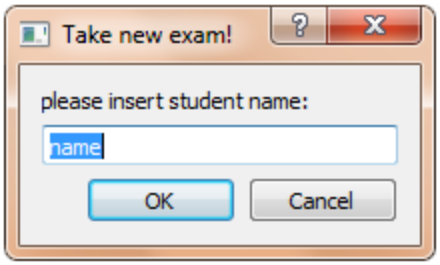
รูปที่ ก.1 หน้าต่างตอนเริ่มใช้งาน

2. เลือกแบบฝึกหัดที่ต้องการฝึกจาก Ultrasound Practice Files แล้วคลิก Practice

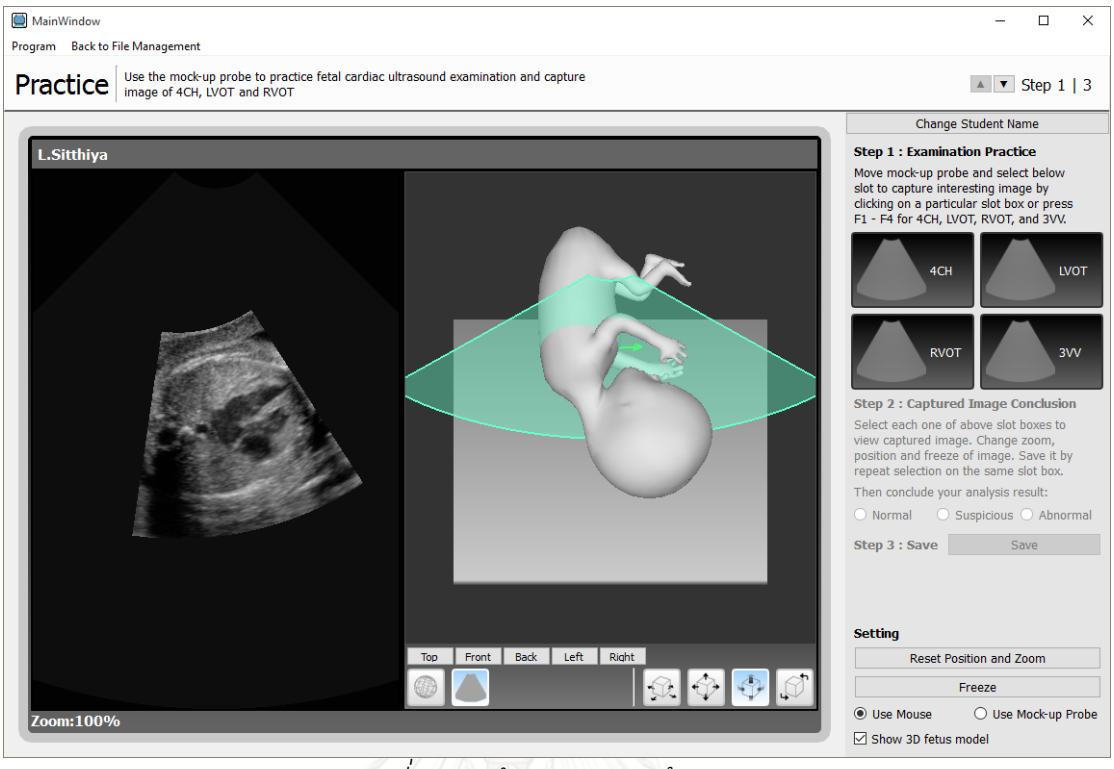


รูปที่ ก.2 หน้าต่างส่วนเลือกแบบฝึกหัด

3. ใส่ชื่อผู้ฝึก แล้วคลิก ok ดังรูปที่ ก.3 โปรแกรมจะเข้าสู่ส่วนการฝึกหัดตรวจในขั้นตอนที่ 1 (ขั้นตอนฝึกตรวจ) ดัง

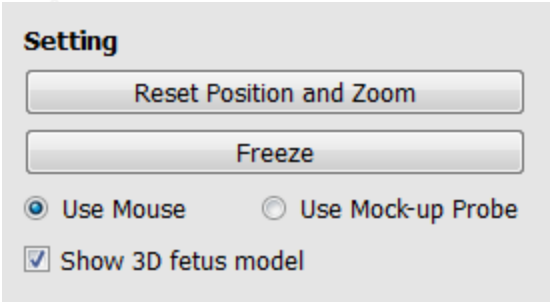


รูปที่ ก.3 หน้าต่างใส่ชื่อผู้ฝึก



รูปที่ ก.4 หน้าต่างส่วนการฝึกตรวจ

4. ตรงช่อง Setting แถบขวาล่างสามารถเลือกระหว่าง Use Mock-up Probe เพื่อใช้งานหัวตรวจที่เป็นฮาร์ดแวร์ กับ Use Mouse เพื่อใช้เมาส์ในการฝึกด้วยการปฏิสัมพันธ์กับภาพประกอบอธิบายการจัดวางซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ ก.5 หน้าต่างส่วนช่อง Setting

5. ในขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการฝึกตรวจโดยการจัดวางหัวตรวจจำลอง แล้วทำการบันทึกระนาบหัวใจ 4CH, LVOT, RVOT, CVV โดยเมื่อได้ภาพที่ต้องการใช้ทำการคลิกที่ปุ่มที่มีข้อความกำกับของระนาบนั้นๆ หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด F1, F2, F3, F4 ตามลำดับ

รูปที่ ก.6 ปุ่มบันทึกภาพระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์

ในการปฏิสัมพันธ์กับส่วนแสดงภาพอธิบายประกอบการจัดวางมีรายละเอียดคือ

- คลิกที่ปุ่ม เพื่อกำหนดการปฏิสัมพันธ์กับภาพอธิบายประกอบการจัดวางให้เป็นระนาบหัวตรวจ คลิกเมาส์ปุ่มซ้ายโดยตรงบนระนาบหัวตรวจจำลองในภาพค้างไว้แล้วขยับเมาส์เพื่อเลื่อนหรือหมุนระนาบ
- คลิกที่ปุ่ม เพื่อกำหนดการปฏิสัมพันธ์กับภาพอธิบายประกอบการจัดวางให้เป็นการเปลี่ยนมุมมอง คลิกเมาส์ปุ่มซ้ายลักษณะเดียวกันกับการจัดวางหัวตรวจเพื่อเปลี่ยนมุมมอง
- แถบเครื่องมือด้านขวาล่างของภาพอธิบายประกอบการจัดวางมีปุ่มสำหรับสั่งการดังนี้

เลื่อนตามระนาบแนวนอนของปริภูมิ

เลื่อนตามระนาบที่ขนานกับระนาบของมุมมองปัจจุบัน

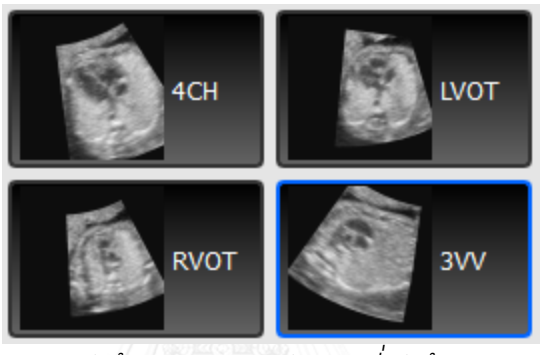
หมุนแบบลูกกลิ้ง (หมุนโดยมีแกนการหมุนอยู่ในระนาบที่ขนานกับระนาบของมุมมองปัจจุบัน)

หมุนแบบนาฬิกา (หมุนโดยมีแกนการหมุนชี้ตั้งฉากกับระนาบของมุมมอง)

6. เมื่อเสร็จขั้นตอนที่ 1 ให้คลิกปุ่ม ▼ เพื่อเลื่อนขั้นตอนตามที่แสดงในรูปที่ ก.7 หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด N เพื่อไปยังขั้นตอนถัดไป

รูปที่ ก.7 ส่วนเลื่อนขั้นตอน

7. ในขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเรียกดูภาพอัลตราซาวด์ที่บันทึกไว้ สามารถเลือกดูภาพของระนาบจากปุ่มชุดเดิมที่บันทึกภาพเอาไว้ตามต้องการ



รูปที่ ก.8 ปุ่มบันทึกภาพระนาบตัดขวางที่บันทึกภาพเอาไว้แล้ว

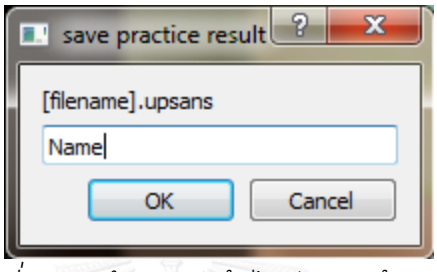
ในการแก้ไขภาพ เมื่อเลือกดูภาพของระนาบขึ้นมาแล้ว ส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์จะแสดงภาพที่บันทึกไว้ ผู้ใช้สามารถปฏิสัมพันธ์กับส่วนแสดงผลระนาบตัดขวางอัลตราซาวด์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- จัดตำแหน่งกึ่งกลางภาพด้วยการคลิกเมาส์ปุ่มซ้ายค้างไว้แล้วขยับ หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด W X A D เพื่อสั่งการ ขึ้น ลง ซ้าย และขวา ตามลำดับ
- ขยายด้วยการคลิกเมาส์ปุ่มขวา หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด Q (ลดขนาด) E (ขยายขนาด)
- หยุดภาพด้วยการคลิกปุ่ม Freeze ในช่อง Setting หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด F
- รื้อการแก้ไขให้เป็นค่าปริยายด้วยการคลิกปุ่ม Reset Position and Zoom ในช่อง Setting หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด R
- บันทึกภาพที่แก้ไขโดยการคลิกที่ปุ่มบันทึกภาพระนาบที่เปิดดูอยู่ซ้ำลงไป

8. สามารถกลับไปยังขั้นตอนก่อนหน้าด้วยการคลิกปุ่ม ▲ ในส่วนเลื่อนขั้นตอน หรือกดปุ่มคีย์บอร์ด B

9. เมื่อเสร็จสิ้นการฝึกตรวจเรียบร้อยแล้ว สามารถทำการบันทึกด้วยการเลื่อนขั้นตอนไปยังขั้นตอนที่ 3 (เช่นเดียวกับการกดปุ่มลูกศรลงในข้อที่ 6) ในขั้นตอนนี้จะมีหน้าต่างให้ตั้งชื่อไฟล์ปรากฏขึ้นมา ตั้งชื่อไฟล์แล้วกด OK



รูปที่ ก.9 หน้าต่างบันทึกไฟล์ผลการฝึกตรวจ

10. เมื่อทำการฝึกเสร็จเรียบร้อยแล้ว กลับไปสู่หน้าเริ่มต้นด้วยการกด Back to File Management ที่แถบด้านบน

11. จากหน้าเริ่มต้น สามารถเรียกดูผลแบบฝึกหัดที่บันทึกได้จากการเลือกไฟล์ที่บันทึกไว้ในส่วนของ Result Files แล้วคลิก View/Edit Result File ซึ่งจะเป็นการเปิดไฟล์ฝึกตรวจกลับขึ้นมาให้ใช้งานในการฝึกตรวจต่อจากที่บันทึกไว้ อาจเปิดขึ้นมาเพื่อฝึกตรวจหรือดูภาพเพื่อตรวจผลการฝึก โดยมีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาตั้งแต่ข้อ 4

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบสอบถาม

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินซอฟต์แวร์จำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์ ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

<u>แบบประเมินความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ต้นแบบ</u>
<u>เพื่อจำลองการตรวจอัลตราซาวด์หัวใจทารกในครรภ์</u>

กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และทำเครื่องหมาย ✓ ในกรอบ ❑

<u>ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน</u>

1. อายุ _____ปี
2. เพศ ❑ชาย ❑หญิง
3. วุฒิการศึกษา _____
4. อาชีพ _____
5. ท่านมีโรคประจำตัวเกี่ยวกับประสาทสัมผัสหรือไม่ (เช่น ตาบอดสี)?

❑ไม่มี

❑มี (โปรดระบุ)

_____

6. ท่านเคยได้รับการฝึกหัดหรือใช้อุปกรณ์ตรวจอัลตราซาวด์มาก่อนหรือไม่?

❑ไม่เคย

❑เคย (โปรดระบุจำนวนชั่วโมงโดยประมาณ)

_____

<u>การวัดความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ต้นแบบ</u>

ตัวแทนโครงการจะแนะนำและสาธิตคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ แล้วผู้ประเมินจะได้สร้างความคุ้นชินกับซอฟต์แวร์เป็นเวลา 5 – 10 นาที จากนั้นผู้ประเมินจะทำการทดสอบการใช้งานเป็นภารกิจ โดยใช้ 15 นาทีในการสร้างแบบฝึกหัด การจัดวางระนาบตัดขวางและการบันทึกระนาบตัดขวางตามเกณฑ์คัดกรอง และเรียกดูภาพที่บันทึกและแก้ไขภาพการฝึกตรวจ หลังจากใช้งานเสร็จสิ้นแล้ว โปรดทำการประเมินในทันที ตามรายการต่อไปนี้

1. จากซอฟต์แวร์ต้นแบบที่ท่านได้ทดลองใช้ หากแบ่งลำดับในการให้คะแนนการประเมินความพึงพอใจต่อความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์ ท่านจะให้ผลการประเมินเป็นคะแนนในระดับใด
(โปรดให้คะแนน 1:ไม่พอใจ – 10: พอใจที่สุด)

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

2. การประเมินตามภารกิจการใช้งาน (โปรดให้คะแนน 1:ไม่พอใจ – 10: พอใจที่สุด)

2.1 จงให้คะแนนภาพอัลตราซาวด์ว่าสามารถนำไปใช้ในการงฝึกจริงได้หรือไม่ ระดับใด

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

2.2 จงให้คะแนนความสอดคล้องของหัวตรวจจำลองกับการแสดงภาพอัลตราซาวด์

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

2.3 จงให้คะแนนว่าการแสดงภาพโมเดลสามมิติของทารกในครรภ์ด้านข้างการแสดงภาพอัลตราซาวด์สามารถช่วยในการฝึกหรือไม่ ระดับใด

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

2.4 จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนบันทึกระนาบตัดขวางว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

2.5 จงให้คะแนนในการใช้งานส่วนเรียกดูและแก้ไขว่าสามารถนำไปใช้งานจริงในการฝึกได้หรือไม่

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5 ❑6 ❑7 ❑8 ❑9 ❑10

3. การประเมินตามเกณฑ์ฮิวริสติกผ่านส่วนประสานผู้ใช้งาน
(โปรดให้คะแนน 1-5 : 1 หมายถึงไม่มีปัญหา และ 5 หมายถึงมีปัญหามากที่สุด ตามลำดับ)
โปรดอ่านทั้ง 10 ข้อเพื่อทำความเข้าใจลักษณะปัญหาทั้งหมดก่อนให้คะแนน

3.1 ผู้ใช้ไม่ทราบถึงขั้นตอนปัจจุบันของการใช้งาน สับสนว่าตนกำลังสั่งการอะไรในแต่ละขณะ

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.2 รูปแบบการใช้งานไม่สอดคล้องกับการตรวจจริง ไม่สามารถทำความเข้าใจ โดยนึกคิดจากระบบการตรวจจริงได้

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.3 ไม่สามารถแก้ไขหรือย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนใดๆ เพื่อแก้ไขการสั่งการที่ผู้ใช้สั่งผิดพลาดได้

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.4 ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพ และการแสดงผลไม่มีความสอดคล้องกัน

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.5 มีข้อผิดพลาดของซอฟแวร์ปรากฏระหว่างการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ไม่ตอบสนองตามที่สั่งการ

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.6 ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการในขั้นตอนต่างๆ และการจัดวางวัตถุมีลักษณะซับซ้อน จดจำการสั่งการได้ลำบาก

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7 ขั้นตอนในการเรียกดูหรือสั่งการเพื่อฝึกหัดในขั้นตอนต่างๆ ขาดวิธีลัดในการสั่งการ เช่น การใช้คีย์บอร์ดแทนเมาส์

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.8 ขนาดตัวอักษร, ข้อความอธิบาย, การจัดวางตำแหน่งของรูปภาพและการแสดงผล ไม่มีความพอดี (ปริมาณมากหรือน้อยเกินไป) หรือไม่มีความเหมาะสม

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.9 เมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น (ทั้งจากการใช้งาน และข้อผิดพลาดของโปรแกรม) แล้วโปรแกรมไม่ได้แนะนำวิธีการแก้ปัญหาให้กับผู้ใช้ หรือมีรหัสคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้อธิบายสาเหตุของปัญหา

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

3.10 การอบรม หรือเอกสารประกอบ ไม่เพียงพอต่อการทำความเข้าใจวิธีการใช้งาน

❑1 ❑2 ❑3 ❑4 ❑5

4. หลังจากที่ท่านได้ใช้งานตามภารกิจแล้ว โปรดเสนอแนะเพิ่มเติม

_____

_____

_____

_____

_____

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิทธิยา เลิศวิราม เกิดในปี พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายที่โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University