การแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยแถวของไดโอดเปล่งแสง โดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์

A Volumetric Display Based On Light Emitting Diode Array Using Android Device

เทิดศักดิ์ วัฒนคีรี[1]
เชษฐ พัฒโนทัย[2]

บทคัดย่อ

การแสดงผลของระบบคอมพิวเตอร์นั้นใช้จอคอมพิวเตอร์ในการแสดงผลข้อมูล และในการแสดงผลภาพสามมิติสามารถทำได้เพียงระนาบเดียว การแสดงภาพสามมิติให้เห็นความลึกของภาพได้เสมือนจริง สามารถทำได้โดยอาศัยจอคอมพิวเตอร์แบบใหม่ที่สามารถแสดงผลที่แตกต่างกันในดวงตา แต่ละข้างโดยการใช้แว่นตาพิเศษช่วย การแสดงภาพสามมิติที่สามารถมองเห็นวัตถุได้ทุกมุมมอง เรียกว่าการแสดงภาพในเชิงปริมาตร โดยได้มีการนำเสนอในงานวิจัยหลายชิ้น จากการศึกษาพบว่าระบบมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ และมีความซับซ้อนโดยอาศัยการแสดงภาพจากเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้นยังไม่มีอุปกรณ์ชนิดไหนที่รองรับการใช้งานอุปกรณ์พกพาเลย ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบการแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยแถวของไดโอดเปล่งแสงโดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์ โดยใช้หลักความรู้ทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์มาช่วยในการออกแบบระบบ จากผลการทดลองพบว่าการแสดงภาพในเชิงปริมาตรต้องอาศัยการแสดงผลภาพตัดขวางด้วยความเร็วที่สูง เพราะในหนึ่งรอบของการหมุนจอแสดงผล จะต้องแสดงภาพตัดขวางตามมุมที่ได้กำหนดไว้จนครบวงรอบ ส่วนการกำหนดความละเอียดสีที่สูงขึ้น หรือระยะห่างในแต่ละองศาที่จะใช้แสดงผลภาพมีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้ระบบสำหรับผู้ที่สนใจ

คำสำคัญ: การแสดงภาพในเชิงปริมาตร ระบบแสดงภาพสามมิติในเชิงปริมาตร การแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยแถวของไดโอดเปล่งแสง

Abstract

The monitor has been used to display the data. But for three-dimensional image, it can display only one plane. In order to make the three-dimensional image looks real with depth; we need new screen type which display different images in each eye using special glasses. A device that can display three-dimensional image from any angle is called volumetric display. This type of display has been proposed in many researches. After some study, we found out that the systems are quite large and complicated. Furthermore, they used the result from the PC only. Portable or mobile devices are not supported. This research proposes prototype of a volumetric display based on light emitting diode array using android device. From the experiment, we found that volumetric display requires rendering cross-section images of a three-dimensional object at very high speed because in one cycle of the rotation of the display, it requires to display all cross-section images. The quality of the three-dimensional image depends on the depth of the color and the degree of display rotation. This project can be used as a prototype for those who interested in volumetric display.

Keywords: Volumetric display, Volumetric three-dimensional display systems, LED Array Volumetric display

[1] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail: terdsak_w@yahoo.com
[2] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail: chate.p@chula.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการแสดงภาพสามมิติบนระบบคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถเห็นได้ทั่วไป เช่น โรงภาพยนต์ระบบสามมิติ หรือบนโทรทัศน์ระบบสามมิติ ซึ่งการแสดงภาพสามมิติเหล่านี้ ทำโดยอาศัยแว่นตาพิเศษซึ่งทำให้ตาแต่ละข้างมองเห็นภาพที่มุมมองต่างกัน ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกเหมือนว่ามองเห็นวัตถุนั้นเป็นภาพสามมิติ นอกจากนี้ยังมีวิธีการแสดงภาพสามมิติแบบที่ไม่ต้องอาศัยแว่นตาช่วย ทำโดยการมองผ่านเลนส์แบบพิเศษซึ่งทำให้ตาแต่ละข้างมองเห็นภาพที่มีมุมมองต่างกันทำให้เกิดเป็นภาพสามมิติขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีที่กล่าวมายังสามารถมองภาพสามมิติได้เพียงมุมมองเดียวคือด้านหน้าของจอแสดงผลเท่านั้น สำหรับการแสดงภาพสามมิติที่สามารถมองเห็นได้จากทุกระนาบเหมือนกับการมองวัตถุจริง เรียกว่าการแสดงภาพในเชิงปริมาตร (Volumetric Display) ซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอระบบแสดงภาพสามมิติที่สามารถมองได้ทุกมุมมองโดยใช้แถวของไดโอดเปล่งแสง (LED Matrix) เป็นตัวแสดงผลพร้อมกับกลไกเคลื่อนไหวเพื่อให้เกิดเป็นภาพสามมิติ โดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์ในการส่งข้อมูลการแสดงภาพเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และสะดวกในการใช้งาน โดยออกสามารถส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังระบบแสดงผลภาพสามมิติ จากนั้นระบบจะนำมาแสดงเป็นภาพสามมิติที่ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นได้ทุกมุมมอง ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดได้เช่น การพัฒนาเกมส์คอมพิวเตอร์ หรือการนำไปทำหน้าจอแสดงสินค้า เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร
2. เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบในการแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยแถวของไดโอดเปล่งแสง โดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์เป็นตัวควบคุม

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เทคโนโลยีในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร

การแสดงภาพในเชิงปริมาตรคือการแสดงผลภาพสามมิติที่สามารถทำให้เกิดภาพสามมิติซึ่งสามารถมองได้ทุกมุมมอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1.1 Static-volume techniques เป็นการสร้างภาพสามมิติโดยไม่มีกลไกเคลื่อนไหวโดยการสร้างจุดแสงยังตำแหน่งต่างๆ บนอากาศ ,ของเหลวหรือ แก๊ส เช่นการใช้แสงเลเซอร์หรือการฉายด้วยโปรเจคเตอร์ ทำให้เกิดเป็นภาพสามมิติเกิดขึ้น เช่น วิธีการในงานวิจัย 3D Display Using Passive Optical Scatterers (Nayar, S., K., Anand, V., N., 2007)

1.2 Swept-volume techniques เป็นวิธีในการสร้างภาพสามมิติโดยการนำภาพวัตถุสามมิติมาสร้างเป็นภาพตัดขวาง ทำให้ได้ชุดของภาพตัดขวาง จากนั้นนำภาพที่ได้มาแสดงบนจอแสดงผลเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องให้สอดประสานกับกลไกการเคลื่อนไหวเพื่อให้เกิดเป็นภาพสามมิติ เช่นวิธีการของงานวิจัย FELIX 3D display: an interactive tool for volumetric imaging (Langhans, K., et al., 2002) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีนี้ในการทำการวิจัย

2. โอเพนจีแอล (OpenGL)

โอเพนจีแอล (OpenGL) ย่อมาจาก Open Graphics Library เป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API))ทางด้านกราฟิกส์แบบเปิด มีคำสั่งให้ผู้พัฒนาระบบใช้งานทั้งด้านกราฟิกส์สองมิติและสามมิติ คือ และสามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์มและหลายภาษา พัฒนาขึ้นโดยบริษัทซิลิคอนกราฟิกส์ (Silicon Graphics Inc หรือ SGI)

และ บริหารจัดการโดย โครโนสกรุป เป็นกลุ่มบริษัทด้านเทคโนโลยีที่ไม่แสวงผลกำไร โดยมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในงานออกแบบใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (CAD) หรือ วิดีโอเกมเป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำ โอเพนจีแอลมาใช้ในการแสดงภาพวัตถุสามมิติ และใช้ในการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุสามมิติ โดยใช้ โอเพนจีแอลอีเอส (OpenGLES) ย่อมาจาก OpenGL for Embedded Systems ซึ่งเป็นเซตย่อยของโอเพนจีแอลที่ถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบฝังตัว เช่นในอุปกรณ์แอนดรอยด์ หรืออุปกรณ์ไอโอเอส(iOS)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1. A Three-Dimensional Swept Volume Display Based on LED Arrays (Gately, M., et al., 2011) เป็นงานวิจัยที่แสดงถึงวิธีการ ในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร โดยการนำแถวของไดโอดเปล่งแสง มาใช้กับเทคนิคของการสแกนโดยใช้จอไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์แสดงภาพ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้ภาพในเชิงปริมาตรที่ทึบแสงกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้ยังได้ออกแบบอัลกอริทึมในการแสดงผลใหม่ ซึ่งช่วยให้ลดภาระในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ลงและยังช่วยลดแบนด์วิดท์ ของการสื่อสารระหว่างระบบคอมพิวเตอร์กับระบบแสดงผลลงอีกด้วย โดยจากงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัย เนื่องจากง่ายในการสร้างระบบต้นแบบ และสามารถต่อยอดได้

3.2. Rendering for an Interactive 360° Light Field Display (Jones, A., et al., 2007) เป็นงานวิจัยที่แสดงถึงวิธีการ ในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร โดยการนำเครื่องโปรเจคเตอร์ ฉายไปยังกระจกที่มีกลไกในการหมุนด้วยมุม 360 องศา โดยมีการปรับแต่งวงจรของโปรเจคเตอร์ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดให้สามารถแสดงภาพที่มีอัตราการแสดงผลที่สูงมาก ผลที่ได้คือ ภาพมีความละเอียดสูง และสามารถมองได้ทุกมุมมอง 360 องศา ภาพที่ได้มีความถูกต้องไม่เกิดการบิดเบี้ยว

วิธีการดำเนินการวิจัย

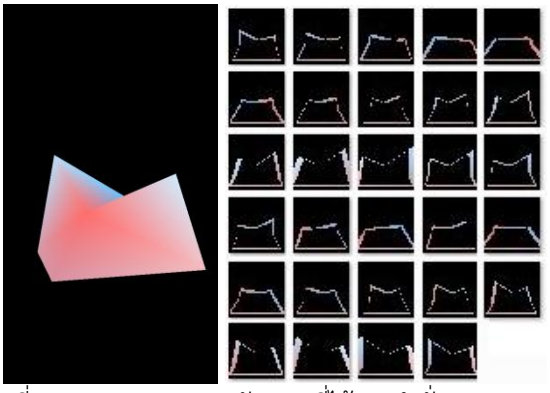
1. ขั้นตอนการสร้างภาพในเชิงปริมาตร

ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษา ค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัย โดยใช้วิธีของ Gately, M., et al., (2011) มาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย โดยได้ต่อยอดในส่วนของการใช้อุปกรณ์พกพาเข้ามาสำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพสามมิติ และยังสามารถทำงานได้แบบไร้สายทำให้ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับระบบแสดงผลทำให้สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำเร็จรูปต่างๆ ที่มีขายทั่วไปมาสร้างเป็นระบบต้นแบบทำให้ลดขั้นตอนในการออกแบบวงจรต่างๆ เพื่อให้สามารถพัฒนาระบบต้นแบบได้อย่างรวดเร็ว และมีต้นทุนในการสร้างระบบต้นแบบที่ไม่สูงมาก จากนั้น ผู้ทำการวิจัยได้ใช้วิธีการสร้างภาพตัดขวางขึ้นโดยการใช้คำสั่ง Clipplan ของ OpenGL โดยมีตัวอย่างคำสั่งการเขียนดังภาพที่ 1

```
public void onDrawFrame(GL10 gl) {
        gl.glClearColor(0f, 0f, 0f, 1.0f);
        gl.glClear(GL10.GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL10.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
        float eqn0[] = { 0.0f, -1.0f, 0.0f, 0.1f };
        float eqn1[] = { 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.1f };
        GLES11.glClipPlanef(GLES11.GL_CLIP_PLANE0, eqn0,0);
        gl.glEnable(GLES11.GL_CLIP_PLANE0);
        GLES11.glClipPlanef(GLES11.GL_CLIP_PLANE1, eqn1,0);
        gl.glEnable(GLES11.GL_CLIP_PLANE1);
        gl.glPushMatrix();
        gl.glRotatef(angleZ, 0.0f, 0.0f, 1f);
        model.draw(gl);
        gl.glPopMatrix();
        gl.glFlush ();
        angleZ+=iRotateAngle;
        if(angleZ>=360) angleZ=0;
}
```

ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างการเขียนคำสั่งในการแสดงภาพตัดขวาง

คำสั่งทำโดยการตั้งค่า Clipplan ที่ระยะแกน X ให้ห่างกัน + และ – 1 เมื่อเราแสดงภาพวัตถุสามมิติจะทำให้มองเห็นเฉพาะภาพที่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ภาพที่อยู่นอกช่วงก็จะถูกตัดออกไป ทำให้ภาพที่ได้เกิดเป็นภาพตัดขวางเกิดขึ้น โดยภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของภาพที่ได้โดยภาพซ้ายมือเป็นภาพของวัตถุสามมิติแบบหลายเหลี่ยมซึ่งเป็นภาพต้นทาง และภาพด้านขวามือเป็นภาพตัดขวางของภาพวัตถุสามมิติโดยการหมุนภาพครั้งละ 12 องศา แล้วสร้างภาพตัดขวางโดยทำซ้ำจนครบ 360 องศา



ภาพที่ 2 แสดงผลของภาพตัดขวางที่ได้จากคำสั่งแสดงภาพ

จากวิธีในการสร้างภาพตัดขวางที่ได้นำมาสร้างเป็นภาพในเชิงปริมาตรโดยการแสดงภาพตัดขวางที่ได้ตามองศาต่างๆ เป็นลำดับพร้อม กับหมุนจอแสดงภาพ จนครบรอบหรือ 360 องศา ซึ่งจะทำให้ได้ภาพสามมิติที่สมบูรณ์ โดยจะต้องใช้จำนวนภาพดังสมการที่ 1

จำนวนภาพตัดขวางใน 1 รอบ = 360องศา / องศาในการแสดงภาพ (1)

เพื่อสร้างภาพในเชิงปริมาตรระบบจะต้องแสดงภาพตัดขวางซ้ำๆกันหลายๆรอบ จนเราสามารถมองเห็นภาพนั้นเป็นภาพสามมิติ ซึ่งจำนวนภาพที่ต้องแสดงในหนึ่งวินาทีนั้นสามารถคำนวนได้จากสมการที่ 2 โดยอัตราการแสดงผลภาพเชิงปริมาตร (volumn refresh rate) ขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนของจอแสดงผลในหนึ่งวินาทีโดยในงานวิจัยนี้การวัดอัตราการหมุนของมอเตอร์ ทำโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการสะท้อนแสงด้วยเซ็นเซอร์ ซึ่งจะมีค่าสัญญานเป็น 0 เมื่อสะท้อนไปยังผิววัตถุสีขาว และจะเป็น 1 เมื่อสะท้อนไปยังวัตถุสีดำโดยออกแบบให้ระบบมีค่าสัญญานเป็น 1 เมื่อหมุนครบหนึ่งรอบเพื่อให้ระบบสามารถคำนวนได้ว่าหมุนที่ความเร็วกี่รอบ

จำนวนภาพใน 1 วินาที = อัตราการแสดงผลภาพเชิงปริมาตร X จำนวนภาพตัดขวางใน1รอบ (2)

นอกจากนี้ในการแสดงภาพจะมีปริมาณข้อมูลต่างๆ ที่ส่งไปยังระบบแสดงผลซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงโดยสมการที่ 3 จะแสดงปริมาณข้อมูลภาพตัดขวางใน 1 ภาพ ซึ่งค่าจะเปลี่ยนไปตามความละเอียดสี (Color depth) และจำนวน และจำนวนพิกเซลแนวตั้ง และจำนวนพิกเซลแนวนอน

$$\text{ปริมาณข้อมูลภาพ1ภาพ} = \frac{\text{ความละเอียดสี X จำนวนพิกเซลแนวตั้ง X จำนวนพิกเซลแนวนอน}}{8(\text{byte}) \times 1024\ (\text{kilobytes})} \quad (3)$$

เนื่องจากการแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยวิธีการ Swept-volume techniques ทำโดยการแสดงภาพตัดขวางต่อเนื่องกันจนเกิดเป็นภาพสามมิติ ดังนั้นปริมาณข้อมูลภาพเชิงปริมาตรได้แสดงในสมการที่ 4

ปริมาณข้อมูลภาพในเชิงปริมาตร = ปริมาณข้อมูลภาพ1ภาพ X จำนวนภาพตัดขวางใน1รอบ (4)

จากสมการที่ได้ปริมาณข้อมูลในการแสดงภาพเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมาก เพราะต้องส่งข้อมูลให้ทันกับระบบแสดงผล อาจแก้ปัญหาโดยการบีบอัดข้อมูลภาพในการส่ง แต่ก็จะส่งผลให้ระบบประมวลผลต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการส่งเป็นไฟล์ทำให้การส่งข้อมูลทำเพียงครั้งแรกครั้งเดียว แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแสดงภาพแบบเรียลไทม์ได้ โดยมีวิธีในการจัดเก็บไฟล์ภาพดังภาพที่ 3

Block Name	Version	Width	Height	Degree	Color	Red 0,0	Green 0,0	Blue 0,0	..	..	..	Red n,n	Green n,n	Blue n,n
Size (byte)	20	10	10	3	7	1	1	1	..	..	..	1	1	1

ภาพที่ 3 รูปแบบไฟล์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ภาพตัดขวางของภาพสามมิติ

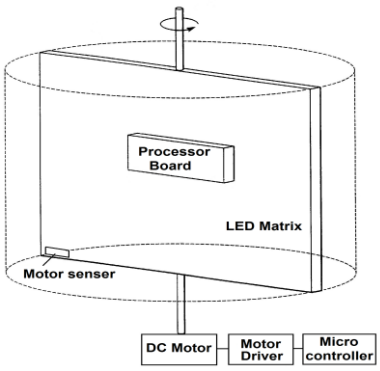
จากภาพอธิบายถึงการเก็บข้อมูลภาพตัดขวางของภาพสามมิติ โดยกำหนดให้ 50 ไบท์แรกใช้ในการเก็บข้อมูลส่วนหัวเพื่อบอกรายละเอียดของไฟล์ หลังจากนั้นในไบท์ถัดมาจะเก็บข้อมูลในแต่ละเฟรม โดยแยกสีที่จัดเก็บเป็น แดง, เขียว, น้ำเงิน จากตำแหน่งที่ 0,0 ไปจนถึง 31,31ซึ่งเท่ากับหนึ่งภาพ จนครบจำนวนภาพตัดขวางในมุม 360 องศา เช่น ถ้าเก็บข้อมูลภาพละ 1 องศา ก็จะได้ 360 ภาพเป็นต้น

2. ออกแบบระบบต้นแบบ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนของ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ผู้ทำการวิจัยออกแบบระบบต้นแบบในการแสดงภาพในเชิงปริมาตรดังนี้

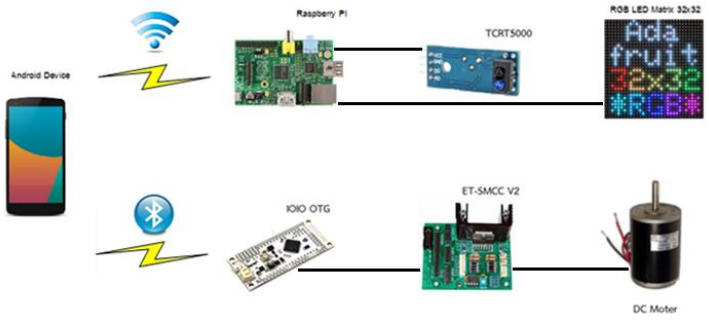
2.1. ออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

หลังจากได้วิธีการในการสร้างภาพตัดขวางแล้ว จึงออกแบบกลไกในการแสดงผลภาพ ซึ่งได้ออกแบบกลไกให้หมุนในทิศทางแกน Z เป็นวงกลม ดังภาพที่ 4



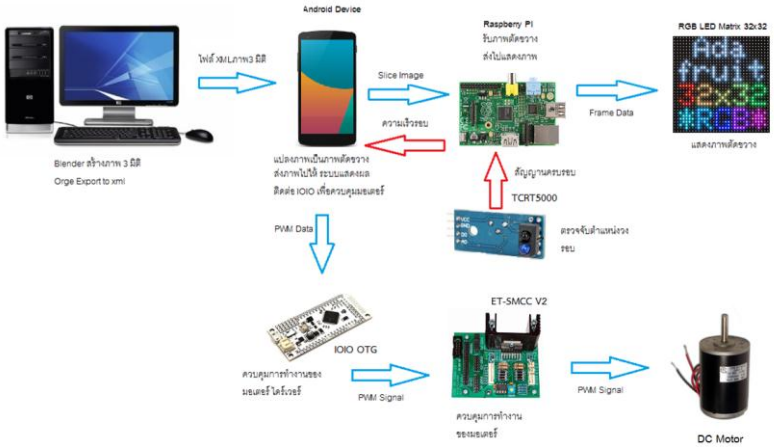
ภาพที่ 4 ระบบแสดงผลภาพในเชิงปริมาตร

จากภาพที่ 4 ได้นำมาใช้ในการออกแบบระบบดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงส่วนประกอบของระบบแสดงผลภาพในเชิงปริมาตร

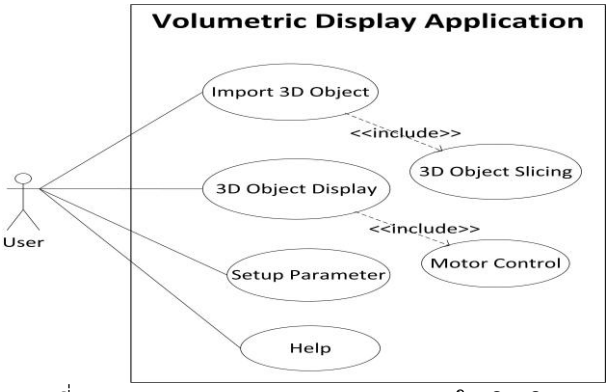
ให้ระบบแสดงผลใช้แถวของไดโอดเปล่งแสงในการแสดงผลภาพตัดขวาง โดยเลือกใช้ RGB LED Matrix ขนาด 32 x 32 ดวง โดยใช้ราสพ์เบอร์รีพาย (Raspberrypi, 2015, February 8) ซึ่งเป็นวงจรคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของจอแสดงผล และสำหรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์แอนดรอยด์ โดยสามารถทำงานแบบไร้สายผ่านวายฟาย (Wifi) ได้ ในส่วนกลไกการขับเคลื่อนทำโดยการใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนโดยสามารถควบคุมการทำงานแบบไร้สายได้ ผู้วิจัยเลือกใช้ โยโยบอร์ด (IOIO board) (IOIO for Android - SparkFun Electronics., 2015, February 8) ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรเลอร์ซึ่งทำงานร่วมกับระบบแอนดรอยด์ เนื่องจากสามารถสนับสนุนการทำงานแบบไร้สายผ่านบูลทูธ (Bluetooth) ได้ และใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับวงรอบการหมุนมอเตอร์ เพื่อตรวจจับความเร็วรอบของการหมุนโดยใช้ราสพ์เบอร์รีพายเป็นตัวประมวลผลการทำงาน นอกจากนี้ระบบยังออกแบบให้สามารถใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์เช่นแท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟนเพื่อส่งของมูลภาพที่ต้องการมาแสดงในระบบ โดยภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบโดยผู้ใช้งานเตรียมภาพสามมิติต่างๆจากโปรแกรมสำเร็จรูปโดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม เบลนเดอร์ (Blender) สำหรับเตรียมภาพสามมิติ และแปลงภาพออกมาเป็นไฟล์เอ็กเอ็มแอล (XML) โดยใช้โปรแกรมโอจีอาร์อีเอ็กซ์พอร์ท (ORGE Export) หลังจากนั้นทำการคัดลอกไฟล์ลงบนอุปกรณ์แอนดรอยด์ โดยผู้ใช้งานทำการนำเข้าภาพสามมิติที่ได้เตรียมไว้เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นระบบจะประมวลผลเป็นภาพตัดขวางและจัดเก็บไว้ หลังจากผู้ใช้งานเลือกการแสดงภาพสามมิติในเชิงปริมาตร ระบบจะส่งข้อมูลไปยังส่วนแสดงผล เพื่อนำภาพตัดขวางไปแสดงอย่างต่อเนื่อง และระบบแอนดรอยด์ยังส่งข้อมูลให้ส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อทำการหมุนมอเตอร์ให้ตรงกับตำแหน่งแสดงภาพทำให้เกิดเป็นภาพในเชิงปริมาตร



ภาพที่ 6 การทำงานระบบแสดงผลภาพในเชิงปริมาตร

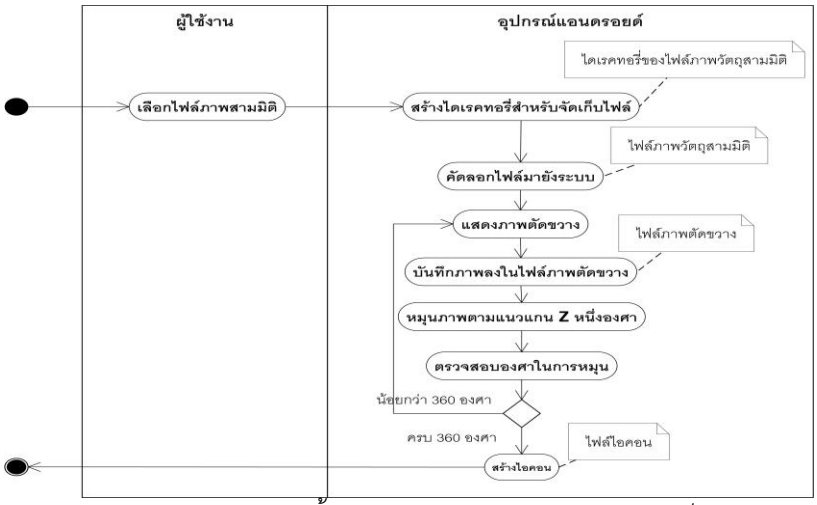
2.2. ออกแบบระบบซอฟต์แวร์

งานวิจัยนี้ในส่วนของซอฟต์แวร์ประกอบด้วยสองส่วนด้วยกันคือ ซอฟต์แวร์ระบบฝังตัวสำหรับควบคุมการทำงานของระบบแสดงภาพ และซอฟต์แวร์บนอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบซอฟต์แวร์โดยใช้วิธีการทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบทั้งในขั้นตอนของการ เก็บรวบรวมความต้องการ,ขั้นตอนการออกแบบระบบ ขั้นตอนการพัฒนาและทดสอบระบบ ซึ่งช่วยให้การพัฒนาระบบสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างของแผนภาพยูสเคสของระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตร



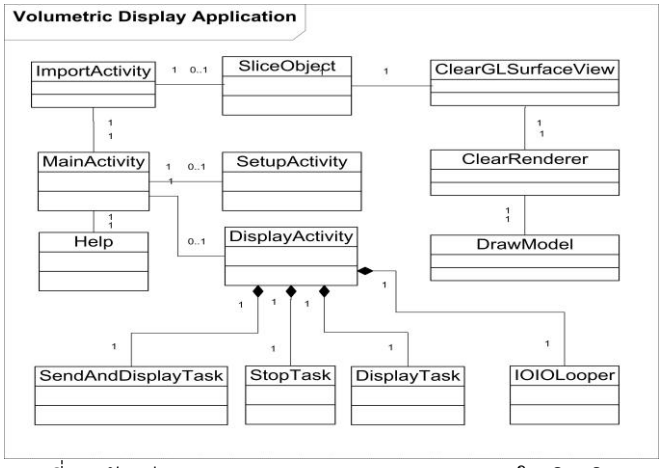
ภาพที่ 7 แผนภาพยูสเคสของระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตร

โดยจากแผนภาพยูสเคส (Usecase diagram)จะมียูสเคส Import 3D Object สำหรับนำเข้าภาพวัตถุสามมิติ ยูสเคส 3D Object Slicing สำหรับแปลงภาพวัตถุสามมิติเป็นภาพตัดขวาง ยูสเคส 3D Object Display สำหรับใช้แสดงภาพในเชิงปริมาตร ยูสเคส Motor Control สำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ยูสเคส Setup Parameter สำหรับการเก็บข้อมูลตัวแปลในการแสดงผล และยูสเคส Help สำหรับแสดงวิธีการใช้งานระบบ



ภาพที่ 8 ตัวอย่างแผนภาพกิจกรรมแสดงขั้นตอนของการแปลงภาพวัตถุสามมิติเป็นภาพตัดขวางสองมิติ

จากแผนภาพยูสเคสนำมาเขียนเป็นแผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) ได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นแผนภาพกิจกรรมของการแปลงภาพวัตถุสามมิติเป็นภาพตัดขวางสองมิติ โดยหลังจากผู้ใช้งานเลือกไฟล์ภาพสามมิติที่ต้องการ ระบบจะทำการแสดงภาพตัดขวาง และบันทึกข้อมูลภาพไว้ หลังจากนั้นจะทำการหมุนภาพ และแสดงภาพตัวขวางถัดไป และบันทึกข้อมูลภาพไว้โดยทำงานซ้ำไปจนครบ 360 องศา



ภาพที่ 9 ตัวอย่างแผนภาพคลาสของระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตร

ภาพที่ 9 แสดงแผนภาพคลาส (Class diagram) ของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย Class Main Activity ซึ่งเป็นเมนูหลักของระบบ Class ImportActivity ทำหน้าที่ในการนำเข้าภาพวัตถุสามมิติ Class SetupActivity ทำหน้าที่ในการบันทึกค่าพารามิเตอร์ในการแสดงผล Class SliceObject ทำหน้าที่ในการแปลงภาพวัตถุสามมิติเป็นภาพตัดขวาง Classs DisplayActivity ทำหน้าที่ในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร

3. พัฒนาระบบ

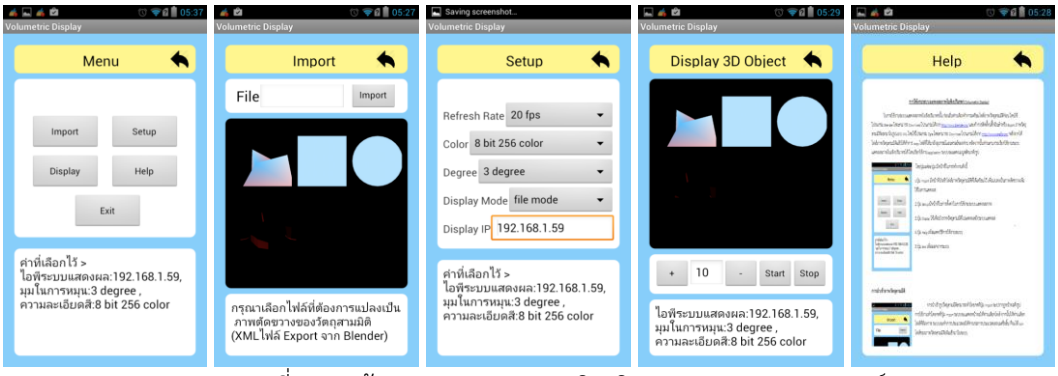
3.1. พัฒนาระบบฮาร์ดแวร์

จากขั้นตอนในการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ ได้ทำการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และทำการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันทำให้ได้ระบบต้นแบบ ไว้ดังภาพที่ 10 สำหรับในเรื่องการจ่ายไฟให้กับระบบ ผู้วิจัยได้ใช้การจ่ายไฟผ่านแบริ่ง (bearing) นำไฟเข้าสู่วงจรคงค่าแรงดัน (regulator) เพื่อจ่ายไฟให้กับระบบฮาร์ดแวร์ต่างๆ ทำให้สามารถจ่ายไฟให้กับส่วนที่มีการเคลื่อนไหวได้

ภาพที่ 10 ระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตรที่ได้พัฒนาขึ้น

3.2. พัฒนาระบบซอฟต์แวร์

หลังจากได้เอกสารในการออกแบบระบบแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ขึ้น ทั้งในส่วนของซอฟต์แวร์บนอุปกรณ์แอนดรอยด์ และบนระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตรทำให้ได้ระบบแสดงภาพในเชิงปริมาตรดังภาพที่ 11 โดยประกอบไปด้วยส่วนต่อประสานดังนี้ คือเมนูหลัก,เมนูนำเข้าไฟล์ภาพสามมิติ,เมนูตั้งค่าระบบ,เมนูแสดงภาพ และ เมนูแสดงวิธีการใช้งานระบบ



ภาพที่ 11 หน้าจอระบบแสดงภาพเชิงปริมาตรบนระบบแอนดรอยด์

4. ทดสอบระบบ

หลังจากพัฒนาระบบเสร็จสิ้นทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อทดสอบว่าระบบสามารถทำตาม ความต้องการเชิงหน้าที่ ตามที่ได้กำหนดไว้ในข้อกำหนดความต้องการของระบบอย่างถูกต้องครบถ้วน โดยการกำหนดวัตถุประสงค์การทดสอบ ออกแบบและกำหนดกรณีทดสอบ สร้างกรณีทดสอบและระบุผลลัพธ์ที่คาดหวังของการทดสอบ โดยก่อนการทดสอบผู้วิจัยได้กำหนดสภาพแวดล้อมการทดสอบระบบ เพื่อให้สามารถทดสอบระบบได้อย่างถูกต้อง

สรุปผลการวิจัย

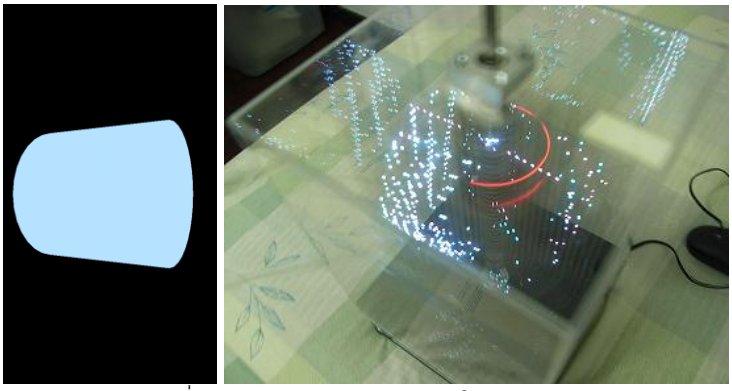
1. การศึกษาวิธีในการแสดงภาพในเชิงปริมาตร

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ผู้ทำการวิจัยได้เลือกวิธี Swept-volume techniques ในการทำการวิจัยเพราะเป็นวิธีที่ง่ายในการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ และมีต้นทุนที่ไม่สูงมาก โดยใช้วิธีของ Gately, M., et al., (2011) มาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย โดยได้ต่อยอดในส่วนของการใช้อุปกรณ์พกพาเข้ามาสำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพสามมิติ และยังสามารถทำงานได้แบบไร้สายทำให้ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับระบบแสดงผลทำให้สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำเร็จรูปต่างๆ ที่มีขายทั่วไปมาสร้างเป็นระบบต้นแบบทำให้ลดขั้นตอนในการออกแบบวงจรต่างๆ เพื่อให้สามารถพัฒนาระบบต้นแบบได้อย่างรวดเร็ว และมีต้นทุนในการสร้างระบบต้นแบบที่ไม่สูงมาก

เนื่องจากการแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยวิธีการแบบ Swept-volume techniques นั้นต้องอาศัยการแสดงภาพตัดขวางของรูปวัตถุสามมิติ ในทิศทางของการเคลื่อนไหวของจอแสดงผล เพื่อให้เกิดเป็นภาพสามมิติขึ้น ผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบวิธีในการสร้างภาพตัดขวางขึ้นโดยการใช้คำสั่ง Clipplan ของ OpenGL พบว่า ช่วยให้เกิดเป็นภาพตัดขวางขึ้น ข้อดีคือง่ายในการพัฒนาระบบและไม่ต้องเขียนโปรแกรมคำนวนหาจุดตัดต่างๆ แต่มีข้อเสียคือ มีกลไกที่เคลื่อนไหว ทำให้ระบบเกิดการสั่นสะเทือน และมีการสึกหรอเกิดขึ้นต้องออกแบบระบบให้ได้สมดุลที่ดี สำหรับจอแสดงผลได้เลือกใช้จอแสดงผลแบบไดโอดเปล่งแสง ซึ่งจะได้ความสว่างของภาพที่ดี และมีความเร็วในการแสดงผลที่สูง การศึกษาวิธีในการสร้างภาพตัดขวาง จากนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้คำสั่ง Clipplan ของ OpenGLES ซึ่งง่ายในการพัฒนาระบบเพราะไม่ต้องเขียนคำสั่งในการคำนวนหาจุดตัดภาพต่างๆ ทำให้สามารถพัฒนาระบบได้อย่างรวดเร็ว แต่มีของเสียคือภาพที่ได้มีรายละเอียดของภาพบางส่วนหายไป สำหรับวิธีในการส่งข้อมูลในการแสดงภาพผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยส่งภาพในการแสดงผลครั้งเดียวไม่ได้ส่งตลอดเวลาการแสดงผล ข้อดี คือ ลดเวลาในการประมวลผล แต่ไม่สามารถแสดงภาพแบบเรียลไทม์ได้

2. การพัฒนาระบบต้นแบบในการแสดงภาพในเชิงปริมาตรด้วยแถวของไดโอดเปล่งแสง โดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์เป็นตัวควบคุม

การใช้งานระบบทำโดยผู้ใช้งานทำการนำเข้าภาพวัตถุสามมิติเข้าสู่ระบบ ระบบจะประมวลผลเป็นภาพตัดขวางของวัตถุสามมิติ และจัดเก็บไว้ เมื่อผู้ใช้งานเลือกเมนูแสดงผล ระบบจะทำการส่งภาพวัตถุสามมิติที่ต้องการไปยังอุปกรณ์แสดงผลภาพในเชิงปริมาตร ระบบจะทำการประมวลผล แล้วแสดงบนจอแสดงผลเป็นภาพสองมิติเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง พร้อมกับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ให้หมุนไปยังตำแหน่งขององศาต่างๆ จนเกิดเป็นภาพสามมิติเชิงปริมาตร ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงผลการแสดงภาพในเชิงปริมาตร

ตารางที่ 1 แสดงตารางผลการทดสอบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมลูกเต๋า

องศาต่อภาพ	Color Deep (สี)	รีเฟรชเรทที่แสดงผลได้ถูกต้อง			คุณภาพของภาพ		
		สี่เหลี่ยม	ทรงกระบอก	หลายเหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	ทรงกระบอก	หลายเหลี่ยม
1°	16	18	17	18	B	B	B
	256	15	16	16	B	B	B
3°	16	22	20	21	B	B	C
	256	17	17	15	B	B	C
6°	16	26	24	23	C	C	C
	256	20	20	21	C	C	C
12°	16	29	28	29	D	D	D
	256	25	24	23	D	D	D

A = รูปทรงชัดเจนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดีที่สุด B = รูปทรงชัดเจน แต่รายละเอียดหายไป
C = รูปทรงชัดเจนน้อยลง และรายละเอียดหายไปมาก D = พอมองเป็นรูปทรง และรายละเอียดหายไปมาก

จากผลการทดสอบการแสดงภาพในเชิงปริมาตรโดยแสดงไว้ในตารางที่ 1 คือ ที่อัตราการแสดงภาพทุกๆ 12 องศาให้ภาพที่มีอัตราการแสดงผลภาพเชิงปริมาตร (volumn refresh rate) สูงที่สุดในกลุ่ม แต่ให้ภาพที่มีรายละเอียดต่ำที่สุด ในทางกลับกันที่อัตราการแสดงภาพทุกๆ 1 องศาให้ภาพที่มีอัตราการแสดงผลภาพเชิงปริมาตร (volumn refresh rate) ต่ำที่สุด แต่ให้ภาพที่มีรายละเอียดดีที่สุดในกลุ่ม สำหรับชนิดของภาพที่ต่างกันให้ผลลัพธ์ที่ต่างกันเล็กน้อย จากผลการทดสอบที่ได้สรุปได้ว่าการแสดงภาพในเชิงปริมาตรในงานวิจัยนี้ สามารถแสดงภาพได้ตรงตามกรณีทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ แต่ยังมีข้อปรับปรุงอยู่หลายข้อด้วยกันเพื่อให้ระบบมีความประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีขึ้น ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตารางสรุปปัญหาที่ได้จากการทดสอบระบบ

ลำดับที่	ปัญหา	สาเหตุ	วิธีการแก้ไข
1	ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นภาพโปร่งแสง	เพราะมีช่องว่างในขณะที่จอแสดงผลเคลื่อนที่	เพิ่มความเร็วของกลไก และเพิ่มความเร็วในการแสดงผล
2	ภาพที่ได้มีความบิดเบี้ยวไปตามทิศทางการหมุนเล็กน้อย	ความเร็วในการแสดงผลไม่ทันกับการเคลื่อนที่	ปรับปรุงคำสั่งในการแสดงผล และเพิ่มความเร็วของฮาร์ดแวร์ประมวลผล
3	รายละเอียดของภาพหายไปไม่สามารถแสดงได้ครบทุกองศา	ความเร็วในการแสดงผลไม่ทันกับการเคลื่อนที่	ปรับปรุงคำสั่งในการแสดงผล และเพิ่มความเร็วของฮาร์ดแวร์ประมวลผล
4	ความละเอียดในการแสดงผลยังไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้จริง	ออกแบบระบบไว้ที่ความละเอียด 32X32	เพิ่มความละเอียดของหน้าจอแสดงผล

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแสดงภาพในเชิงปริมาตรโดยใช้อุปกรณ์แอนดรอยด์เป็นตัวควบคุมการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถแสดงภาพสามมิติที่สามารถมองเห็นได้จากทุกมุมมองเสมือนเรามองวัตถุจริง ซึ่งจากการทดสอบ ระบบสามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงอีกหลายอย่าง เนื่องจากในการแสดงภาพในเชิงปริมาตรต้องอาศัยการแสดงผลภาพตัดขวางด้วยความเร็วที่สูงเพราะในหนึ่งรอบของการหมุน จอแสดงผลจะต้องแสดงภาพตัดขวางตามมุมที่ได้กำหนดไว้ให้ทันกับการเคลื่อนไหวจนครบวงรอบ ทำให้ในบางกรณีทดสอบให้รายละเอียดภาพที่ไม่สมบูรณ์ เพราะระบบประมวลและระบบแสดงผลไม่สามารถทำงานได้ทันกับกลไกในการขับเคลื่อน และนอกจากนี้เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นมีความละเอียดในการแสดงผลค่อนข้างต่ำทำให้การประยุกต์ใช้งานจริงยังทำได้อย่างจำกัด สำหรับการต่อยอดงานวิจัยสามารถทำได้โดยการเพิ่มความละเอียดของระบบแสดงผลขึ้นพร้อมทั้งเปลี่ยนไปใช้ระบบประมวลผลที่มีความสามารถสูงขึ้นด้วย ส่วนในด้านซอฟต์แวร์ต้องพัฒนาวิธีในการประมวลผลข้อมูลให้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดในเรื่องของการควบคุมการทำงานของระบบแสดงผลภาพในเชิงปริมาตรได้ โดยการใช้อุปกรณ์อินพุตแบบต่าง ๆ มาควบคุมการทำงาน เช่นการใช้ ลีพโมชันคอนโทรเลอร์ (Leap Motion Controller) หรือ คินเน็คเซ็นเซอร์ (kinect sensor) มาช่วยในการควบคุมได้ หรือต่อยอดในเรื่องการแสดงผลแบบเรียลไทม์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Gately, M., Zhai, Y., Yeary, M., Petrich, E., & Sawalha,L., (2011). A three-dimensional swept volume display based on LED arrays. **Journal of Display Technology**, 7(9), 503 -514

Jones, A., McDowall, I., Yamada, H., Bolas, M., & Debevec, P., (2007). Rendering for an interactive 360 light field display. **Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007**, 26(3)

Langhans, K., Bahr, D., Bezecny, D., Homann, D., Oltmann, K., Oltmann, K., Guill, C., Rieper, E., Ardey, G., (2002). FELIX 3D display: an interactive tool for volumetric imaging. **Proceedings of Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IX**, 176 24-May-2002

Nayar, S., K., Anand, V., N., (2007, July). 3D Display Using Passive Optical Scatterers. **IEEE Computer Magazine**, 40(7).

Raspberrypi. (2015). [Online] Available: http://www.raspberrypi.org/products/ (2015, February 8).

IOIO for Android-SparkFun Electronics. (2015). [Online] Available: https://www.sparkfun.com/products/retired/10748 (2015, February 8).