

การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3 มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง Quad Meshes Generation from Drawings for Sharp Edged 3D Models with Holes

ทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์* และภาวดี สมภักดี

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Songwut Jiamsrisukhon* and Pavadee Sompagdee

Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การสร้างวัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม ที่มีด้านคม และมีช่องว่างนั้นค่อนข้างซับซ้อน แม้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับความนิยมในการใช้งานในปัจจุบัน มาเป็นเครื่องมือสำหรับใช้สร้างวัตถุดังกล่าว ก็ยังพบว่าใช้เวลานาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบที่นำการวาดรูปเส้นโค้งและรูปเรขาคณิตปฐมฐาน ที่คล้ายกับการวาดภาพตามธรรมชาติของมนุษย์ มาใช้ในการกำหนดโครงร่าง 2 มิติ ของอาวุธมีคม และช่องว่างภายในวัตถุ เพื่อให้สร้างวัตถุได้เร็วขึ้น และใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมในการจัดเก็บ เพื่อให้เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเกมหรือแอนิเมชัน การให้ผู้ใช้สามารถกำหนดช่องว่างภายในวัตถุได้ ทำให้การสร้างรูปทรง 3 มิติ มีความสลับซับซ้อนกว่าการสร้างวัตถุโดยทั่วไป เพราะต้องจัดเรียงลำดับของจุดในโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม หลังจากกำหนดโครงร่าง 2 มิติ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะนำโครงร่างที่ได้ไปแปลงเป็นวัตถุ 3 มิติ ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยผู้ใช้ระบบสามารถควบคุมค่าความกว้างที่อยู่ระหว่างจุดต้นและจุดปลายด้วยค่าพารามิเตอร์ ผลลัพธ์ของโปรแกรมนี้นี้จะได้วัตถุที่เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถแปลงเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามเหลี่ยมได้ทำให้สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายชนิด ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือที่ได้พัฒนาไปทดลองใช้สร้างวัตถุกับผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพและผู้ใช้มายาระดับทั่วไป ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบพบว่าผู้ใช้ทั้งสองกลุ่มสามารถสร้างวัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่มีด้านคม และมีช่องว่างด้วยเวลาที่ลดลงร้อยละ 54.97 และ 72.31 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การวาดรูป; รูปเรขาคณิตปฐมฐาน; สมการเส้นโค้ง; วัตถุ 3 มิติ; โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม

Abstract

Generating a fine quality 3D sharp edged weapon model with holes based upon quad meshing is complicated. Although some current 3D modelling tools are available, generating a model for this

specific purpose is still time-consuming. Therefore, we developed a flexible tool, using curve based drawings and simple primitives which is similar to human nature to sketch edges and holes within objects in 2D space in order to fasten our processes. Quad mesh lattice structure, which is suitable for games and animation, is used for object representation. Allowing users to cut holes within affects the complexity of our method in maintaining the sequence of vertices in lattice structure. After the completion of the 2D layout, our method performs extrusion process to generate 3D shape. Users are allowed to adjust the width between the beginning and end points with parameter. The output model; quad mesh model, can be split into triangles and can be used in various types of work. We tested with two groups of samples: A Maya professionally trained user and general users. The experimental results showed that both groups created 3D objects with holed took less time than using Maya by 54.97 and 72.31 %, respectively.

Keywords: sketch-based interfaces; primitive shape; bezier curved; 3D modeling; quadrilateral mesh

1. คำนำ

ลักษณะของอาวุธมีคมจะมีด้านคมและบางชนิดจะมีช่องว่างอยู่ในตัวของวัตถุ (Withers, 2011; DeviantArt, 2013) ซึ่งอาวุธมีคมถือเป็นวัตถุ 3 มิติที่มีรูปทรงหลากหลายและพบเป็นจำนวนมากในงานบันเทิงต่าง ๆ ได้แก่ ละคร เกม แอนิเมชัน เป็นต้น การสร้างอาวุธมีคมแบบวัตถุ 3 มิติ ให้ออกมาใช้งานได้อย่างมีคุณภาพนั้น นอกจากผู้ใช้ต้องพิจารณาถึงความเหมือนของวัตถุ 3 มิติ แล้วผู้ใช้อย่างต้องพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของวัตถุในประเด็นอื่น ๆ ด้วย เช่น รูปแบบของโครงสร้างตาข่าย ปริมาณของโพลีกอนในวัตถุ 3 มิติ

ปกติแล้วการสร้างวัตถุ 3 มิติ จะใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม (quadrilateral mesh) เพราะเป็นลักษณะโครงสร้างที่ดูเรียบง่าย ทำให้ง่ายต่อการนำไปต่อเติมและแก้ไข โดยวัตถุ 3 มิติ ที่ได้เมื่อนำไปทำดีฟอร์เมชัน (deformation) จะไม่เกิดปัญหาเรื่องการพับ (folding effect) ทำให้ภาพเคลื่อนไหวในแอนิเมชันดูราบรื่นและที่สำคัญวัตถุ 3 มิติ ที่ใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมหลังจากทำซับดิวิชัน (subdivision) แล้วก็ยังคงสภาพที่ดูเรียบง่ายเช่นเดิม

นอกจากโครงสร้างแล้วผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของโพลีกอนที่ใช้ในวัตถุ 3 มิติ ตัวอย่าง เช่น ในงานของเกมที่สำคัญกับความเร็วในการประมวลผล เนื่องจากเกมถูกจำกัดด้วยฮาร์ดแวร์ (hardware) และความสามารถของเกมเอ็นจิน (engine) ดังนั้นผู้ใช้จะต้องสร้างวัตถุ 3 มิติ ให้มีปริมาณโพลีกอนน้อยที่สุดที่ทำให้วัตถุ 3 มิติ ดูเหมือนมากที่สุด

จากที่กล่าวมา การสร้างอาวุธมีคมแบบวัตถุ 3 มิติ ที่มีช่องว่างให้มีคุณภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดนั้นค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลามาก

ในโปรแกรมมายาปี 2014 (Maya, 2014; Autodesk, Inc., 2016) การสร้างช่องว่างให้กับวัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม ผู้ใช้จะต้องเลือกจุด (vertex) มาแปลงเป็นหน้า (face) โดยการใช้ฟังก์ชัน chamfer vertex แล้วให้หาหน้าที่ได้มาเพิ่มจำนวนหน้าย่อยภายในให้เป็น 4 หน้า ด้วยฟังก์ชัน add subdivision จากนั้นผู้ใช้จะต้องปรับจุดที่ได้จากหน้านั้น ๆ ให้มีรูปลักษณะตามช่องว่างที่ต้องการ นอกจากนี้ผู้ใช้ต้องเชื่อมจุดในหน้าที่ไม่เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม (การเพิ่มหน้าเป็น 4

หน้า จากการทำซัพดิวิชันจะทำให้โครงสร้างในส่วนที่จะทำช่องว่างเปลี่ยนแปลงไป) ให้เป็นสี่เหลี่ยมด้วยการใช้ฟังก์ชัน interactive split tool โดยการเติมเส้นที่ละเส้นไปเรื่อย ๆ จนครบ จากที่กล่าวมาการสร้างช่องว่างให้กับวัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมต้องผ่านหลายขั้นตอนและใช้เวลามาก

นอกจากที่กล่าวมา ในโปรแกรมมายามีเทคนิคบูลีน (Boolean) หรือ CSG (Zelevnik *et al.*, 1996; Durand and Igarashi, 2010) ในการทำช่องว่างให้กับวัตถุ 3 มิติ ซึ่งสามารถสร้างช่องว่างได้อย่างรวดเร็วแต่ก็มีจุดอ่อนตรงที่จุดระหว่างส่วนของช่องว่างกับวัตถุนั้นจะแยกออกจากกัน ซึ่งในมายาจะใช้ฟังก์ชัน triangulate ในการเชื่อมจุดที่แยกออกจากกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามเหลี่ยมทำให้ยากต่อการนำไปพัฒนาต่อไป

กระบวนการสร้างวัตถุ 3 มิติ ที่ให้ความสำคัญในเรื่องของความเร็วและโครงสร้างของตาข่ายนั้นจะใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ 3 มิติ (sketch-based modeling) โดยกระบวนการนี้ผู้ใช้จะสร้างเส้นภาพเงา (silhouette) ด้วยการวาดรูป จากนั้นระบบจะเปลี่ยนเส้นภาพเงาที่เป็น 2 มิติ ให้กลายเป็นวัตถุ 3 มิติ โดยอัตโนมัติด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

ในอดีตมีผลงานมากมายที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ 3 มิติ โดยที่ในแต่ละผลงานก็จะมีลักษณะของวัตถุ 3 มิติ ที่สร้างได้แตกต่างกันออกไป ได้แก่ ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติที่มีลักษณะกลมระหว่างเส้นภาพเงา (Igarashi *et al.*, 1999; Mori and Igarashi, 2007; Wither *et al.*, 2008) ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติ ที่มีลักษณะกลมด้วยเส้นเพียง 2 เส้น และสามารถเปลี่ยนลักษณะกลมไปเป็นลักษณะอื่นได้ด้วยการลากเส้นเพิ่มเติม (Cherlin *et al.*, 2005) ใช้เส้นร่างแบบ 3 มิติ เพื่อสร้างวัตถุ 3 มิติ (Fang and Lee, 2013) ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติที่มีลักษณะ

สมมาตร (Oztireli *et al.*, 2011) ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติที่ประกอบมาจากชิ้นส่วนเลโก้ (Lego) (Santos *et al.*, 2008) เป็นต้น

นอกจากนี้เส้นภาพเงาที่ได้จากกระบวนการวาดรูปยังสามารถนำไปใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะด้าน โดยที่ระบบจะนำเส้นภาพเงาที่ได้ไปคำนวณหาผลลัพธ์บางอย่าง ตัวอย่าง เช่น ใช้ในการสร้างเส้นโค้ง (Cohen *et al.*, 1999) ใช้ในการสร้างรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (Paulson and Hammond, 2008) ใช้ในการค้นหาเครื่องแต่งกาย (Kondo *et al.*, 2008) ใช้สำหรับการทำดีฟอริเมชันให้กับงานแอนิเมชัน (Hahn *et al.*, 2015) ใช้สำหรับสร้างกราฟ (Arvo and Novins, 2006) ใช้สำหรับคำนวณสมการ (Laviola and Zelevnik, 2007; Li *et al.*, 2008) ใช้สำหรับทำภาพโมเซอิก (Abdrashitov *et al.*, 2014) ใช้สำหรับออกแบบงานสถาปัตยกรรมภายในอาคาร (Camozzato *et al.*, 2015) และภายนอกอาคาร (Wonka *et al.*, 2003; Sugihara, 2009)

จากที่กล่าวมาทางผู้วิจัยได้มองเห็นถึงประโยชน์ของการนำการวาดรูปและรูปเรขาคณิตปฐมฐานมาใช้ในการสร้างอวรูมีคมให้กับวัตถุ 3 มิติ โดยที่ปรับปรุงให้ผู้ใช้สามารถกำหนดส่วนคมของวัตถุผ่านเส้นที่ผู้ใช้วาดขึ้นมาได้ นอกจากนี้ผลลัพธ์ของวัตถุ 3 มิติ ที่ได้ยังมีโครงสร้างของช่องว่างที่เชื่อมกับจุดในบริเวณใกล้เคียงเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม โดยที่ช่องว่างดังกล่าวถูกสร้างมาจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานประเภทวงกลม วงรี และสมการเส้นโค้ง

ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากจบกระบวนการจะได้วัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม โดยที่ระบบมีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถควบคุมระบบผ่านทางปุ่มไอคอน (Icon) และสไลเดอร์บาร์ (slider bar) ได้อีกด้วย ระบบนี้ใช้ภาษา C++ บนเครื่องมีอวิซวลสตูดิโอปี ค.ศ. 2013 (Visual Studio, 2013; Microsoft,

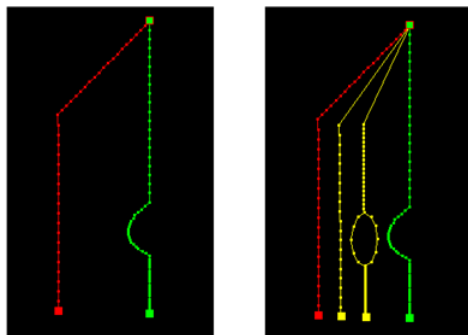
2016) และระบบทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ผู้ใช้อยู่ระดับมืออาชีพและผู้ใช้อยู่ระดับทั่วไปสามารถสร้างวัตถุ 3 มิติ ที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่มีด้านคม และมีช่องว่างด้วยเวลาที่ลดลงจากเวลาเดิม 54.97 และ 72.31 % ตามลำดับ

2. ภาพรวมของระบบ

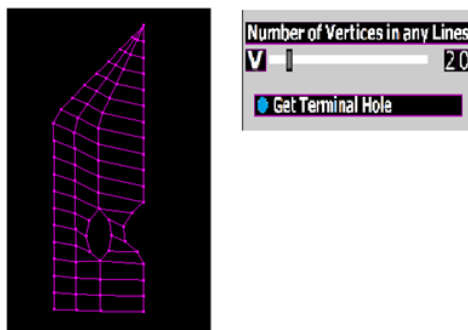
ผู้วิจัยได้นำการวาดรูป รูปเรขาคณิตปฐมฐาน และสมการเส้นโค้งมาใช้ในการสร้างเส้นโครงร่าง โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการสร้างผ่านทางไอคอนในระบบได้ เส้นโครงร่างนั้นจะประกอบไปด้วยเส้นโครงร่างภายนอกและเส้นโครงร่างภายใน ดังรูปที่ 1 เส้นโครงร่างภายนอกใช้เพื่อกำหนดขอบเขตโครงร่างให้กับวัตถุ 2 มิติ มีทั้งหมด 2 เส้น ได้แก่ เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย และเส้นโครงร่างภายนอกขวา ส่วนเส้นโครงร่างภายในใช้เพื่อกำหนดจุดเด่นของคมมีด ใช้เพื่อควบคุมขอบเขตโครงร่างและใช้เพื่อสร้างช่องว่างให้กับวัตถุ โดยเส้นโครงร่างภายในนี้จะสร้างขึ้นได้ตามจำนวนที่ผู้ใช้ต้องการใช้งาน

หลังจากกำหนดเส้นโครงร่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมจำนวนจุดผ่านสไลเดอร์บาร์ได้ดังรูปที่ 2 โดยวิธีการแบ่งจำนวนจุดในแต่ละเส้นโครงร่างให้เท่ากันจะอธิบายต่อไปในหัวข้อที่ 3.1

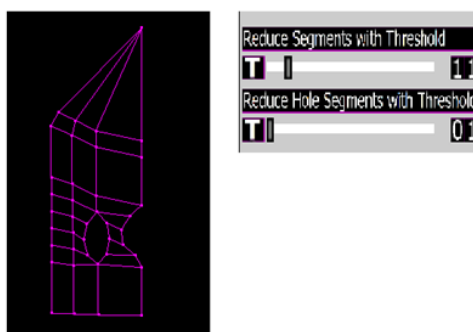
หลังจากแบ่งจำนวนจุดให้เท่ากันเสร็จแล้ว ระบบสามารถลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่างได้ และยังคงสภาพที่มีช่องว่างไว้เช่นเดิม โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมระดับของการลดจุดได้ผ่านทางสไลเดอร์บาร์ ดังรูปที่ 3 โดยวิธีการลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่างจะอธิบายต่อไปในหัวข้อที่ 3.2



รูปที่ 1 เส้นโครงร่างภายนอกก่อนเพิ่มเส้นโครงร่างภายใน และหลังเพิ่มเส้นโครงร่างภายใน

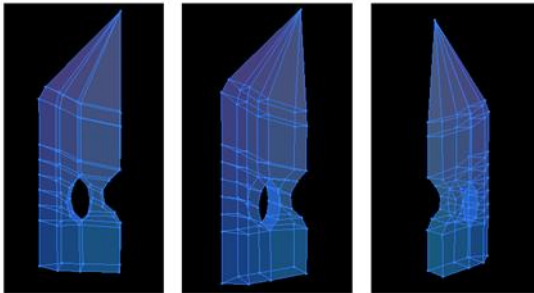


รูปที่ 2 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น



รูปที่ 3 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง

ต่อมาระบบจะเข้าสู่กระบวนการทำเอ็กซ์ทรา-
ชัน โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมความกว้างที่อยู่
ระหว่างจุดต้นและจุดปลายของเส้นโครงร่างแต่ละ
เส้นผ่านทางสไลเดอร์บาร์ ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะอธิบาย
ต่อไปในหัวข้อที่ 3.3



Assembly Vertex of Destination			
D			+0.00
Outer Silhouette Line L			
S			+0.00
R			01
Outer Silhouette Line R			
S			+0.30
R			+ 05
Inner Silhouette Line 01			
S			+0.30
R			+ 05
Inner Silhouette Line 02			
S			+0.30
R			+ 05

รูปที่ 4 การทำเอ็กซ์ทราชัน

จากที่กล่าวมาการแบ่งส่วนการทำงานของ
ระบบจะถูกแสดงดังรูปที่ 5

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบมีดังนี้

3.1 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น

ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการนำเส้นโครงร่าง
เก่า ดังรูปที่ 6 มาเปลี่ยนให้เป็นเส้นโครงร่างใหม่ที่
มีระยะห่างระหว่างจุดเท่ากัน ดังรูปที่ 6c โดยที่เส้น
โครงร่างใหม่ทุก ๆ เส้นจะมีจำนวนจุดที่เท่ากัน

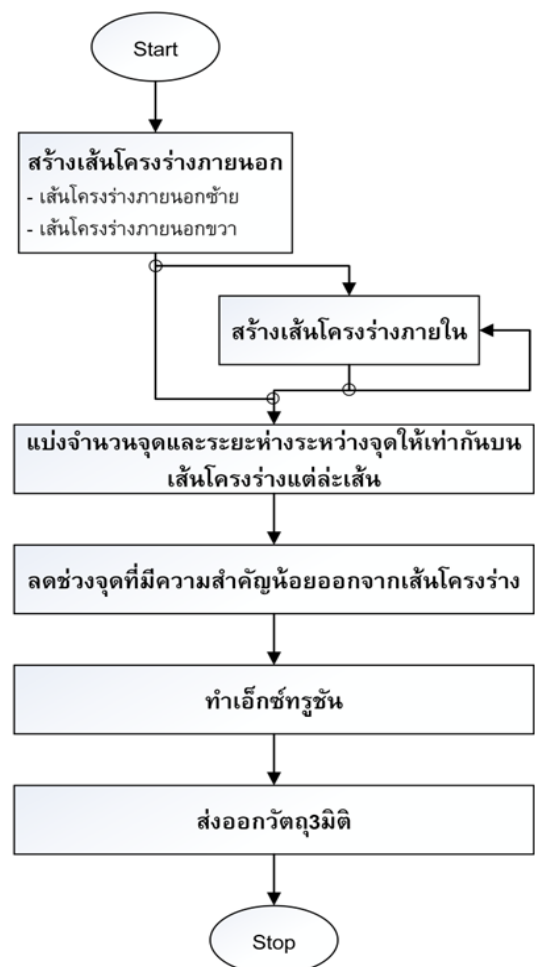
โดยระบบจะหาพิกัดจุดบนแกน x และ y
ของเส้นโครงร่างใหม่ได้จากสมการดังนี้

$$x = b \times ((x2-x1) \div a) \quad (\text{สมการที่ 1})$$

$$y = b \times ((y2-y1) \div a) \quad (\text{สมการที่ 2})$$

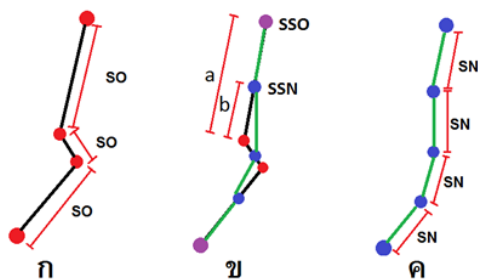
$$b = (SSN - (SSO-a)) \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดย a คือ ระยะห่างของช่วงจุดเก่า; b
คือ ระยะห่างที่จะวางตำแหน่งจุดบนเส้นใหม่; SN
คือ ระยะห่างที่เท่ากันในแต่ละช่วงจุดเก่า; SSN คือ
ผลรวมระยะห่างสะสมของ SN; SO คือ ระยะห่างใน
แต่ละช่วงจุดเก่า; SSO คือ ผลรวมระยะทางสะสม
ของ SO



รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบ

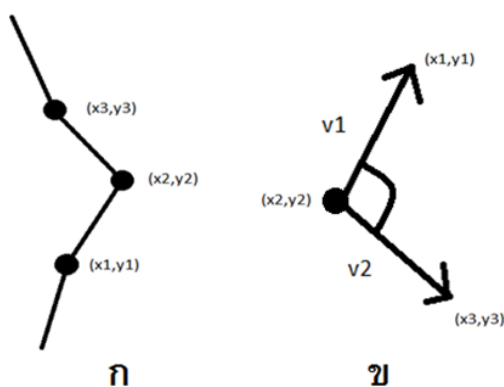
หลังจากแปลงเป็นเส้นโครงร่างใหม่เรียบร้อยแล้ว ระบบจะเชื่อมจุดระหว่างเส้นโครงร่างให้เป็นโครงร่างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 6 ขั้นตอนการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน

3.2 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง

ขั้นตอนนี้ระบบจะนำจุดที่อยู่ติดกัน 3 จุด ดังรูปที่ 7ก มาคำนวณหามุมให้กับจุดที่อยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 7ข



รูปที่ 7 การคำนวณหามุมให้กับจุด

หลังจากคำนวณหามุมให้กับจุดทุกจุด (ยกเว้นจุดต้นกับจุดปลาย) บนเส้นโครงร่างใหม่ทุกเส้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะตัดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่างโดยการตัด

เส้นเชื่อมระหว่างโครงร่างที่ตรงกับช่วงจุดนั้นออกทั้งหมด การตัดจะทำให้ก็ต่อเมื่อจุดทุกจุดที่เชื่อมต่อกันระหว่างเส้นโครงร่างจะต้องทำมุมน้อยกว่าค่ามุมที่ผู้ใช้กำหนด ด้วยสมการดังนี้ โดย $C < D$

$$C = \text{abs}(180 - \text{angle}) \quad (\text{สมการที่ 4})$$

$$D = (\text{threshold} \times t2) \quad (\text{สมการที่ 5})$$

โดย threshold คือ มุมที่ผู้ใช้กำหนด; $t2$ คือ ค่าความสำคัญของช่วงที่มีค่าตั้งแต่ 0-1

3.3 การทำเอ็กซ์ทราซัน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการแปลงวัตถุ 2 มิติ ให้เป็นวัตถุ 3 มิติ โดยเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกของจุดต้นและจุดปลาย และค่าแกมมาที่ใช้ในการควบคุมความลึกของจุดทุกจุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นกับจุดปลาย โดยขั้นตอนนี้ได้นำพาวเวอร์ลอว์ทรานส์ฟอร์มเมชัน (power-law transformation) มาประยุกต์ใช้

ในกรณีที่จุดต้นมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกน้อยกว่าจุดปลาย ระบบจะคำนวณความกว้างของจุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นกับจุดปลายด้วยสมการดังนี้

$$\text{width} = \text{wos} + A^{\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{สมการที่ 6})$$

$$A = (B + \text{MOL}) \times \text{AM} \quad (\text{สมการที่ 7})$$

$$B = \text{abs}(\text{wos} - \text{wod})^{\gamma} \quad (\text{สมการที่ 8})$$

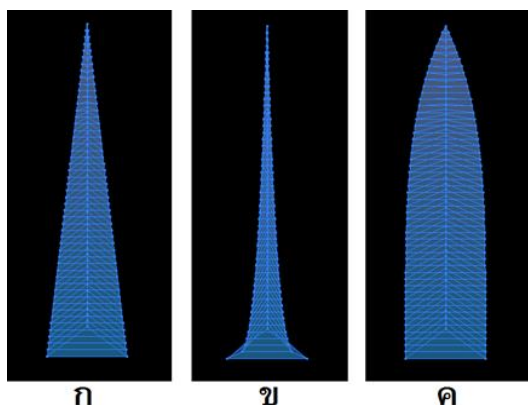
โดย wos คือ ความกว้างของจุดต้น; wod คือ ความกว้างของจุดปลาย; MOL คือ ระยะทั้งหมดของเส้นโครงร่าง; AM คือ ผลรวมระยะห่างสะสมของเส้นโครงร่าง; γ คือ ค่าแกมมา

ในกรณีที่จุดต้นมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกมากกว่าจุดปลาย ดังรูปที่ 8 จะมีการเปลี่ยนแปลงในสมการที่ 1 ดังนี้

$$\text{width} = \text{wos} - A^{(1/\gamma)} \quad (\text{สมการที่ 9})$$

ถ้ากำหนดให้ค่าแกมมาเป็น 1 จุด ที่อยู่ระหว่างจุดต้นและจุดปลายจะมีความกว้างเป็นสมการเส้นตรง ดังรูปที่ 8ก ถ้ากำหนดให้แกมมามีค่ามากกว่า 1 ระยะห่างช่วงต้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว

ดังรูปที่ 8 ข และถ้ากำหนดให้ค่าเกมมามีค่าน้อยกว่า 1 ระยะห่างช่วงต้นจะลดลงอย่างช้า ดังรูปที่ 8 ค



รูปที่ 8 การกำหนดค่าเกมมาที่แตกต่างกัน

4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ของระบบแบ่งตามความชำนาญของผู้ใช้โปรแกรมมายา ซึ่งแบ่งได้ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบกับผู้ใช้โปรแกรมมาयरระดับมืออาชีพ

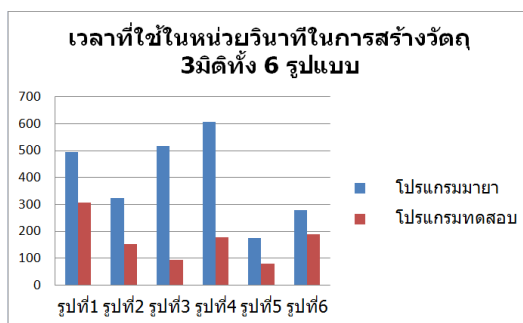
ผู้ใช้โปรแกรมมาयरระดับมืออาชีพ คือ ผู้ใช้ที่เคยศึกษาและเคยใช้โปรแกรมมายาในการสร้างวัตถุ 3 มิติ ในผลงานต่าง ๆ มาแล้วไม่ต่ำกว่า 2 ปี โดยทางผู้วิจัยได้เชิญผู้สอนโปรแกรมมายาจากทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์มาทดสอบระบบ

ในการทดสอบทางผู้วิจัยได้เตรียมวัตถุ 3 มิติ ที่มีลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังรูปที่ 16 จากนั้นให้ผู้ผู้ใช้โปรแกรมมาयरระดับมืออาชีพทดลองสร้างวัตถุ 3 มิติ ทั้ง 6 รูปแบบ โดยเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างในหน่วยวินาทีกับโปรแกรมทดสอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแสดงตามตารางที่ 1 และรูปที่ 9 ดังนี้

จากตารางที่ 1 วิเคราะห์ได้ว่าโปรแกรมทดสอบใช้เวลาในการสร้างลดลงถึง 54.97 % เมื่อเทียบกับโปรแกรมมายา

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีในการสร้างวัตถุ 3 มิติ ทั้ง 6 รูปแบบ

วัตถุ 3 มิติ	โปรแกรมมายา	โปรแกรมทดสอบ	เวลาที่ใช้ลดลง
รูปที่ 1	496	308	188
รูปที่ 2	325	152	173
รูปที่ 3	517	95	422
รูปที่ 4	608	177	431
รูปที่ 5	175	80	95
รูปที่ 6	279	190	89



รูปที่ 9 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ 1

4.2 การทดสอบกับผู้ใช้โปรแกรมมาयरระดับทั่วไป

ผู้ใช้โปรแกรมมาयरระดับทั่วไปคือผู้ใช้ที่เคยศึกษาและเคยใช้โปรแกรมมายามาแล้วไม่ต่ำกว่า 20 ชั่วโมง

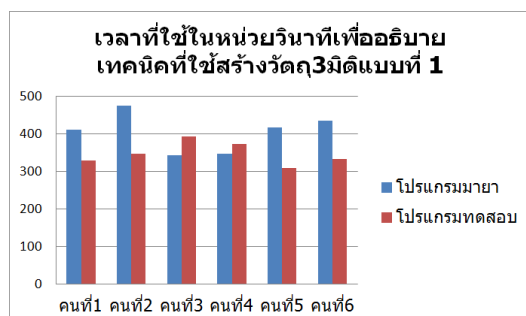
ในการทดสอบทางผู้วิจัยได้นำวัตถุ 3 มิติ รูปแบบที่ 1 ดังรูปที่ 16 มาใช้เป็นต้นแบบเนื่องจากเป็นวัตถุที่มุมส่วนใหญ่ตั้งฉากกันและความกว้างของวัตถุเท่ากันจึงทำให้ง่ายต่อการสร้างในโปรแกรมมายาและง่ายต่อการเปรียบเทียบรูปทรง นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิคที่ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติ รูปแบบที่ 1 ในโปรแกรมมายาจากผู้ที่ใช้โปรแกรมมายามืออาชีพมาเรียบร้อยแล้ว

การเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบจากเวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีในการอธิบายเทคนิคที่ใช้

สร้างวัตถุ 3 มิติรูปแบบที่ 1 ระหว่างโปรแกรมมายา และโปรแกรมทดสอบ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 และ เวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีในการสร้างวัตถุ 3 มิติ รูปแบบที่ 1 ระหว่างโปรแกรมมายาและโปรแกรมทดสอบ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีเพื่ออธิบาย เทคนิคที่ใช้สร้างวัตถุ 3 มิติ แบบที่ 1

ผู้ทดสอบ โปรแกรม	โปรแกรม มายา	โปรแกรม ทดสอบ	เวลาที่ ใช้ลดลง
คนที่ 1	412	329	83
คนที่ 2	476	347	129
คนที่ 3	344	393	-49
คนที่ 4	347	373	-26
คนที่ 5	417	309	108
คนที่ 6	435	334	101

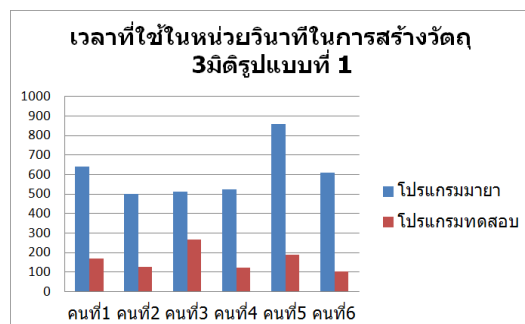


รูปที่ 10 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ 2

ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีในการสร้าง วัตถุ 3 มิติ รูปแบบที่ 1

ผู้ทดสอบ โปรแกรม	โปรแกรม มายา	โปรแกรม ทดสอบ	เวลาที่ ใช้
คนที่ 1	640	171	469
คนที่ 2	501	127	374
คนที่ 3	512	267	245
คนที่ 4	526	122	404
คนที่ 5	859	188	671
คนที่ 6	612	103	509

จากตารางที่ 2 วิเคราะห์ได้ว่าโปรแกรมทดสอบใช้เวลาในการอธิบายเทคนิคในการสร้าง วัตถุ 3 มิติแบบที่ 1 ลดลง 12.44 % เมื่อเทียบกับ โปรแกรมมายา



รูปที่ 11 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 วิเคราะห์ได้ว่าโปรแกรมทดสอบใช้เวลาในการสร้างวัตถุ 3 มิติรูปแบบที่ 1 ลดลงถึง 72.31 % เมื่อเทียบกับโปรแกรมมายา

5. สรุป

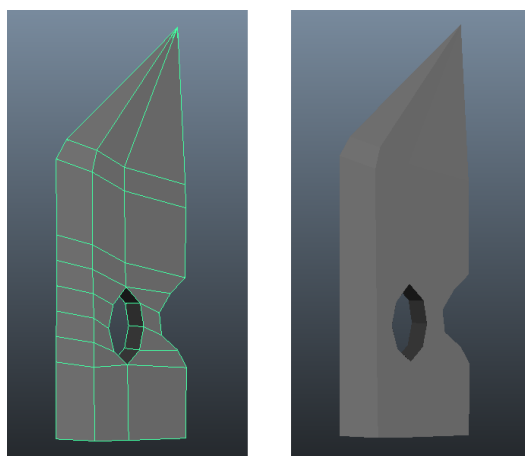
ในงานบันเทิงไม่ว่าจะเป็น ละคร เกม หรือ แอนิเมชัน ผู้สร้างจะต้องสร้างวัตถุ 3 มิติ เป็นจำนวนมาก และอาจมีคัมก็ถือเป็นวัตถุ 3 มิติ ที่มีหลากหลายชนิดและพบเห็นได้บ่อยมากในงานเหล่านี้ ดังนั้นการสร้างเครื่องมือที่ช่วยให้การสร้าง วัตถุ 3 มิติแบบวัตถุ 3 มิติ ทำได้ง่าย รวดเร็ว และตรงตามความต้องการของผู้ใช้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ระบบนี้ใช้การวาดรูป รูปเรขาคณิตปฐมฐาน และสมการเส้นโค้ง ในการสร้างเส้นโครงร่างภายนอก และภายใน ตามลำดับ โดยรูปเรขาคณิตปฐมฐานจะนำไปใช้สร้างช่องว่าง จากนั้นระบบจะแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน และลดช่วงจุดที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกจำนวนโพลีกอนที่จะใช้ในวัตถุ 3 มิติได้ตามแบบที่ต้องการและยังใช้ในการลบเส้นเชื่อม

ระหว่างโครงสร้างที่มีการทับซ้อนกันในส่วนนั้นได้ จากนั้นระบบจะเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเพื่อแปลงโครงสร้าง 2 มิติให้เป็นวัตถุ 3 มิติ ต่อไป

การทดสอบกับผู้ใช้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพสามารถสร้างวัตถุ 3 มิติ โดยใช้เวลาลดลงถึง 54.97 % และผู้ใช้มายาระดับทั่วไปสามารถสร้างวัตถุ 3 มิติ โดยใช้เวลาในการศึกษาและสร้างลดลง 12.44 และ 72.31 % ตามลำดับ

วัตถุ 3 มิติ ที่ได้จากระบบนี้มีการเรียงจุดแบบทวนเข็มนาฬิกาและรองรับการทำพื้นผิว (texture) โดยสามารถส่งออกไฟล์วัตถุ 3 มิติ เป็นไฟล์สกุล .OBJ เพื่อนำไปใช้กับระบบอื่น ๆ ได้ ดังรูปที่ 12 นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้พบว่าโปรแกรมทดสอบนี้สามารถนำไปใช้สร้างวัตถุ 3 มิติ ที่ตรงกับงานฟาบรีเคชัน (fabrication) ดังรูปที่ 16 และ 16

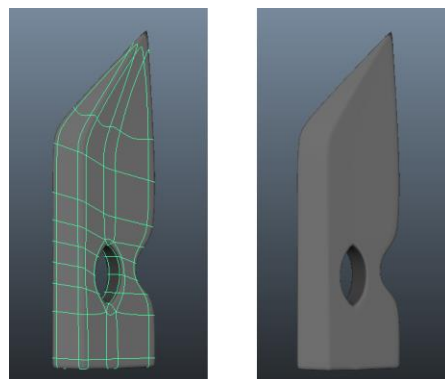


รูปที่ 12 วัตถุ 3 มิติ ที่สร้างจากระบบนี้และส่งออกไปที่โปรแกรมมายา

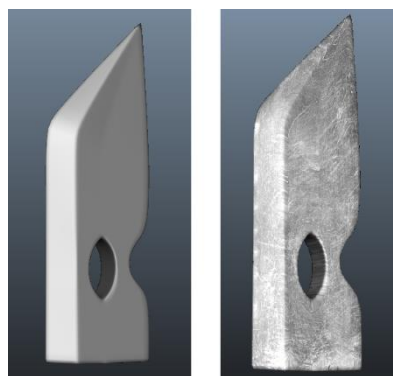
จากรูปที่ 17 ผู้วิจัยใช้เวลาในการสร้าง 137, 100, 89 และ 132 วินาที ตามลำดับ และรูปที่ 18 ผู้วิจัยใช้เวลาในการสร้าง 90, 131, 171 และ 169 วินาที ตามลำดับ โดยรูปล่างสุดของรูปที่ 18 ผู้วิจัยนำรูปที่ใช้เวลา 169 วินาที ไปพัฒนาต่อในโปรแกรม

มายาโดยใช้เวลาเพียง 96 วินาที

ระบบนี้สามารถสร้างอาวุธมีคมได้หลากหลายรูปแบบ และรวมถึงอาวุธที่มีส่วนว่า ดังรูปบนสุดของรูปที่ 18 อย่างไรก็ตาม วัตถุ 3 มิติ ที่สร้างจากระบบนี้อาจเกิดปัญหาการทับกันของเส้นระหว่างโครงสร้างซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้วาดเส้นโครงสร้างที่มีส่วนว่าไปในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 19 เป็นผลให้รูปทรงของวัตถุ 3 มิติผิดเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขเบื้องต้นได้โดยการวาดกลุ่มของเส้นโครงสร้างภายในที่ค่อย ๆ มีการปรับเปลี่ยนรูปจากทางซ้ายไปทางขวา ดังรูปที่ 20 เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในอนาคตทางผู้วิจัยมีแผนการนำมอร์ฟิงมาใช้ในการเพิ่มเส้นโครงสร้างที่มีการปรับเปลี่ยนการลากเส้นตามเส้นที่อยู่ระหว่างเส้นซ้ายมือกับขวามือแบบอัตโนมัติ



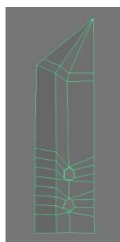
รูปที่ 13 วัตถุ 3 มิติ หลังจากทำซับริวิชัน



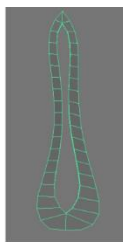
รูปที่ 14 วัตถุ 3 มิติ หลังใส่แสงและแปะพื้นผิว



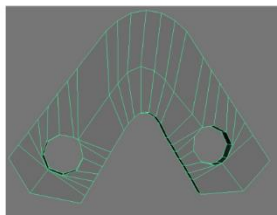
รูปที่ 15 ส่วนคมของวัตถุหลังแปะพื้นผิว



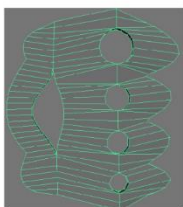
ก



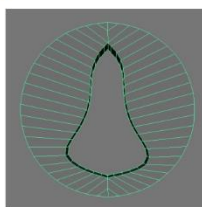
ข



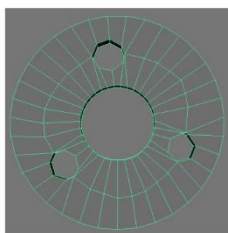
ค



ง

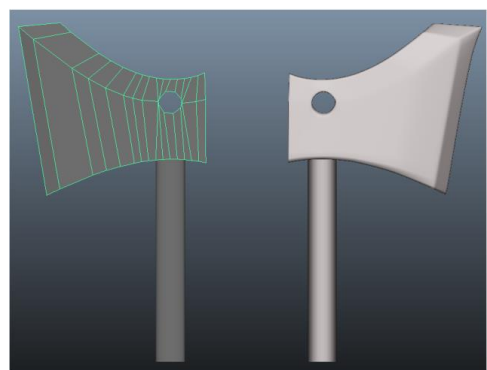
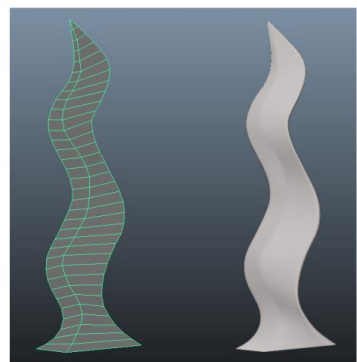
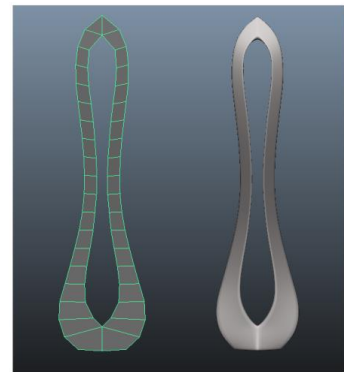
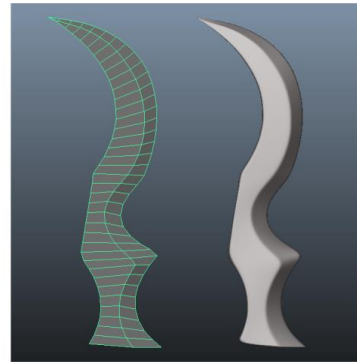


จ

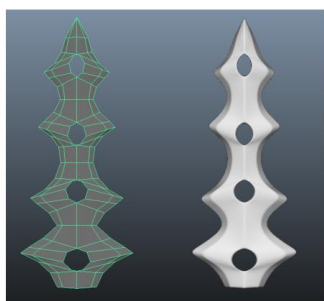
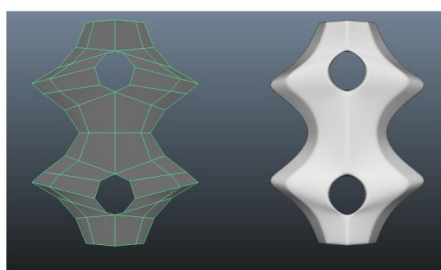
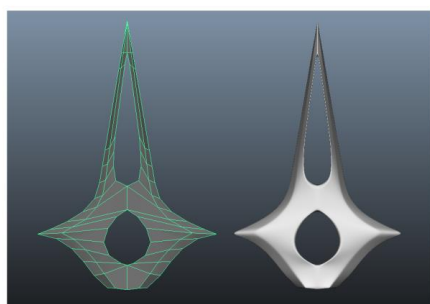
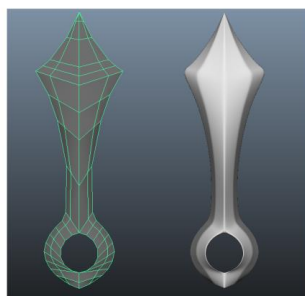
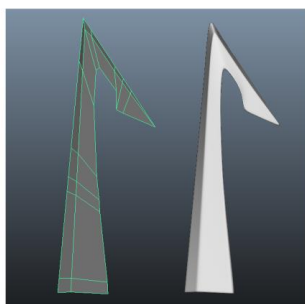


ฉ

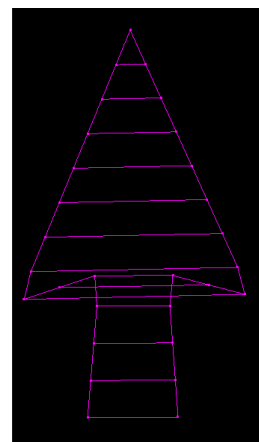
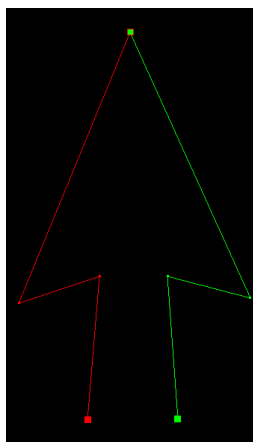
รูปที่ 16 วัตถุ 3 มิติ ที่ใช้ทดสอบทั้ง 6 รูปแบบ



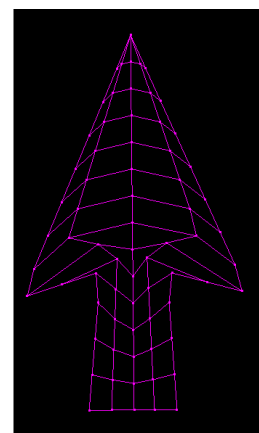
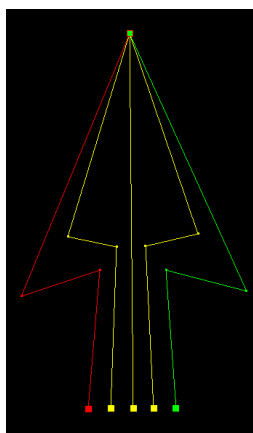
รูปที่ 17 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ



รูปที่ 18 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ 2



รูปที่ 19 การทับกันของเส้นระหว่างโครงร่าง



รูปที่ 20 การใช้กลุ่มเส้นโครงร่างภายในเพื่อแก้ไขการทับกันระหว่างเส้นโครงร่าง

6. รายการอ้างอิง

- Abdrashitov, R., Guy, E., Yao, J. and Singh, K., 2014, Mosaic: Sketch-based Interface for creating digital decorative mosaics, SBIM 14: 5-10.
- Arvo, J. and Novins, K., 2006, Fluid sketching of directed graphs, AUIC 06: 81-86.
- Autodesk, Inc., Maya | Computer Animation & Modeling Software | Autodesk, Available source: <http://www.autodesk.com/products/>

- maya/overview, July 29, 2016.
- Camozzato, D., Dihi, L., Silveira, I., Marson, F. and Musse, S.R., 2015, Procedural floor plan generation from building sketches., SIGGRAPH 15: Article No. 51.
- Cherlin, J.J., Samavati, F., Sousa, M.C. and Jorge, J.A., 2005, Sketch-based modeling with few strokes, SIGGRAPH 05: 137-415.
- Cohen, J.M., Markosian, L., Zeleznik, R.C., Hughes, J.F. and Barzel, R., 1999, An interface for sketching 3D curves, I3D 66: 17-21.
- DeviantArt, Rittik-Designs's DeviantArt Gallery, Available Source: <http://rittik-designs.deviantart.com/gallery/>, August 4, 2015.
- Fang, F. and Tsui Lee, Y., 2013, 3D reconstruction from drawings with straight and curved edges, SIGGRAPH 13, Article No. 1.
- Graphic Resources S.L., Free vector icons – SVG, PSD, PNG, EPS & Icon Font – Thousands of free icons, Available source: <http://www.flaticon.com/>, May 10, 2016.
- Hahn, F., Mutzel, F., Coros, S., Thomaszewski, B., Nitti, M., Gross, M. and Sumner, R.W., 2015, Sketch abstractions for character posing, SCA 15: 185-191.
- Igarashi, T., Matsuoka, S. and Tanaka, H., 1999, Teddy: A sketching interface for 3d freeform design, SIGGRAPH 99: 409-416.
- Kondo, S.I., Toyoura, M. and Mao, X., 2014, Sketch based skirt image retrieval, SBIM 14: 11-16.
- Laviola, J.J.Jr. and Zeleznik, R.C., 2007, MathPad2: A system for the creation and exploration of mathematical sketches, SIGGRAPH 07: Article No. 46.
- Li, C., Miller, T.S., Zeleznik, R.C. and Laviola, J.J., 2008, AlgoSketch: Algorithm sketching and interactive computation, SBM 08: 175-182.
- Microsoft, Any Developer, Any App, Any Platform | VisualStudio, Available source: <https://www.visualstudio.com>, February 16, 2016.
- Mori, Y. and Igarashi, T., 2007, Plushie: An interactive design system for plush toys, SIGGRAPH 07, Article No. 45.
- Oztireli, A.C., Uyumaz, U., Popa, T., Sheffer, A. and Gross, M., 2011, 3D modeling with a symmetric sketch, SBIM 11: 23-30.
- Paulson, B. and Hammond, T., 2008, PaleoSketch: Accurate Primitive Sketch Recognition and Beautification, IUI 08: 1-10.
- Rivers, A., Durand, F. and Igarashi, T., 2010, 3D modeling with silhouettes, SIGGRAPH 10: Article No. 109.
- Santos, T., Ferreira, A., Dias, F. and Fonseca, M.J., 2008, Using sketches and retrieval to create LEGO models, SBM 08: 89-96.
- Sugihara, K., 2009, Automatic generation of 3-D building models with various shapes of roofs, SIGGRAPH ASIA 09: Article No. 28.
- Wither, J., Bouthors, A. and Cani, M.P., 2008, Rapid sketch modeling of clouds, SBM 08: 113-118.
- Withers, H.J.S., 2011, The Illustrated Directory of Swords & Sabres, Southwater, an Imprint of Anness Publishing Ltd., Blaby Road, Wigston, Leicestershire LE18 4SE.

Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F. and Ribarsky, W., 2003, Instant architecture, SIGGRAPH 03: 669-677.

Zelevnik, R.C., Herndon, K.P. and Hughes, J.F., 1996, SKETCH: An interface for sketching 3D scenes, SIGGRAPH 96: 163-170.