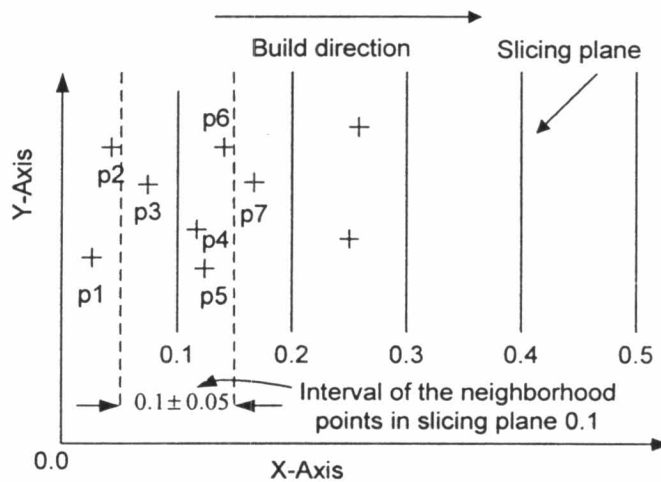


เทคนิคการจัดการข้อมูลและสร้างแบบจำลอง STL

4.1. ระบบการจัดการข้อมูล (Data Management System)

4.1.1. การคัดแยกกลุ่มและเรียงอันดับข้อมูลจุด (Grouping and Ordering Process)

วิธีที่จัดการข้อมูลในเบื้องต้นเพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลจุดของผิววัตถุ เพื่อที่จะนำข้อมูลจุดที่ถูกจัดอันดับแล้วเข้าสู่ในการคำนวณในขั้นตอนของขบวนการจัดการและคัดแยกข้อมูลจุดที่มีความคล้ายคลึงกันซึ่งจะได้กล่าวต่อไป โดยผู้วิจัยจะใช้ระนาบขไลซ์ (Slicing Plane) จำนวนหนึ่งตัดผ่านข้อมูลจุดของผิววัตถุด้วยค่าระยะห่างระหว่างแต่ละระนาบ ที่ผู้ใช้กำหนดตลอดช่วงของข้อมูลจุด เพื่อการจัดเรียงอันดับข้อมูลจุดและเพื่อค้นหาข้อมูลจุดที่อยู่ใกล้ๆ กับระนาบขไลซ์ ที่ระยะทางใดๆ แต่ละระนาบขไลซ์จะต้องขนานกันและไปตามทิศทางที่ผู้ใช้กำหนด หรือ เป็นทิศทางตามระบบแกนของข้อมูลจุดที่ได้มาจากการวัดพิคคของผิววัตถุด้วยเครื่องวัดพิคค 3 มิติ โดยแต่ละระนาบขไลซ์ นั้นจะทำหน้าที่คัดแยกข้อมูลจุดที่อยู่ใกล้ๆ กับระนาบขไลซ์ และเพื่อบ่งชี้ข้อมูลจุดเหล่านั้นด้วยระนาบขไลซ์ที่ระยะทางนั้นๆ เพื่อสะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลจุดเหล่านั้น และเพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลจุด และเพื่อคัดเลือกข้อมูลจุด (Sampled Point) ที่จะนำเข้าสู่การคำนวณในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นจึงทำการจัดเรียงอันดับข้อมูลจุดของแต่ละระนาบขไลซ์ ตามระยะทางตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับระนาบจากระยะทางน้อยไปสู่ระยะทางมาก และระนาบขไลซ์ก็จะถูกเรียงอันดับจากระยะทางน้อยไปสู่ระยะทางมากเทียบจากจุดศูนย์ของวัตถุ ตัวอย่างดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การจัดเรียงอันดับของระนาบขไลซ์ และข้อมูลจุดของแต่ละระนาบขไลซ์

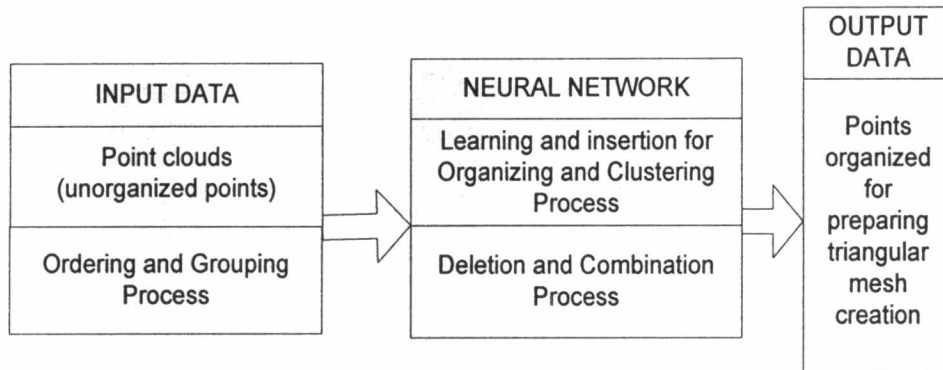
ข้อมูลจุดของระนาบซไลซ์ใดๆ จะเรียงอันดับโดยการพิจารณาจากระยะทางตามแกน X-axis ในรูปที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างระนาบซไลซ์ แต่ละอันจะถูกแบ่งอย่างเท่าๆกัน และช่วงของข้อมูลที่จะถูกกำหนดโดยระนาบซไลซ์ ใดๆ นั้น คือ ± 0.05 โดยจุดที่ p_1 และ p_2 ในรูปที่ 4.1 จะถูกคัดแยกเข้าสู่กลุ่มของระนาบซไลซ์ ที่ 0.0 และจัดเรียงอันดับตามระยะทางไปสู่ระนาบซไลซ์ และเช่นเดียวกันกับ p_3, p_4, p_5, p_6 สำหรับระนาบซไลซ์ที่ 0.1 และ p_7 ของระนาบซไลซ์ที่ 0.2 จะถูกคัดแยกและเรียงอันดับในวิธีเดียวกันสำหรับระนาบซไลซ์ ที่ 0.1 ด้วยวิธีการคัดแยกข้อมูลจุดด้วยระนาบซไลซ์ จะทำให้สามารถกำหนดบริเวณบางส่วนของข้อมูลจุดของผิววัตถุ เพื่อเลือกเฉพาะพื้นที่ส่วนที่ต้องการจะนำไปใช้ในขบวนการของขั้นตอนต่อไปเพื่อสร้างแบบจำลองผิว STL เฉพาะที่ที่ต้องการได้

4.1.2. การจัดการและคัดแยกกลุ่มข้อมูลจุดที่มีความคล้ายคลึงกัน (Organizing and Clustering Process, $\Phi(P_i)$)

เมื่อข้อมูลจุดและระนาบซไลซ์ ได้เรียงอันดับเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะนำข้อมูลจุดมาใช้ในการคำนวณในขบวนการนี้ที่ละจุดเริ่มจากข้อมูลจุดที่มีระยะทางไกลที่สุดจากตำแหน่งศูนย์กลางของวัตถุของระนาบซไลซ์ที่มีระยะทางไกลที่สุดจากตำแหน่งศูนย์กลางของวัตถุเช่นกัน ไปสู่ข้อมูลจุดที่มีระยะทางไกลที่สุดของระนาบซไลซ์นั้น โดยเมื่อข้อมูลจุดของระนาบซไลซ์ถูกนำไปใช้ในการคำนวณครบแล้ว ข้อมูลจุดของระนาบซไลซ์ระนาบต่อไปที่ระยะทางไกลออกไปก็จะดำเนินการต่อเนื่องกันจากข้อมูลจุดที่ไกลที่สุดเช่นเดียวกัน ตัวอย่างรูปที่ 4.1 การนำข้อมูลจุดมาใช้ (Sampling Point) เริ่มจากระนาบซไลซ์ที่ 0.0 ข้อมูลจุดที่ p_1 จะเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณก่อนตามมาด้วย p_2 และต่อเนื่องกันไปที่ระนาบซไลซ์ ที่ 0.1 ข้อมูลจุดเริ่มจาก p_3 และ p_4, p_5, p_6

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้อมูลจุดที่จัดอันดับแล้วนั้นจะมากับอัลกอริทึมการจัดการแยกกลุ่มความคล้ายคลึงกันเข้าสู่โครงสร้างสืบทอดแบบปรับตัวเองได้สองระดับโดยใช้ระบบนิเวศเน็ตเวิร์คแบบใหม่ ตามรูปที่ 4.2 โดยประกอบด้วย 2 ขบวนการ คือ ขบวนการจัดการและคัดแยกข้อมูล (Organizing and Clustering Process) และขบวนการลบและรวมข้อมูล (Deletion and Combination Process) เป็นขบวนการเรียนรู้และปรับตัวเองของระบบนิเวศเน็ตเวิร์คแบบใหม่เพื่อจัดการโครงสร้างการสืบทอดสองระดับให้เป็นไปตามการกระจายตัวของข้อมูลจุดของผิววัตถุ และ โครงสร้างการสืบทอดนี้จะเป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูลและเข้าถึงข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลจุดของผิววัตถุที่ได้จากการวัดบนผิววัตถุ เพื่อใช้ในการสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม ขบวนการนี้ช่วยจำกัดพื้นที่ในการค้นหาข้อมูลให้น้อยลงเพื่อการเข้าถึงข้อมูลได้เร็วขึ้น และในการเข้าถึงข้อมูลอาจใช้คำสำคัญ (Keywords) ซึ่งง่ายต่อการบ่งชี้ข้อมูลทั้งหมดซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกัน ข้อมูลที่ถูกเก็บบันทึก เช่น ข้อมูลจุดที่เหมาะสมสำหรับสร้างผิวสามเหลี่ยมนั้นมี 3 จุด และระหว่าง

3 จุดจะต้องมีระยะห่างระหว่างกันและกันนั้นไม่เกินค่าที่กำหนด โดยข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกจัดการ และถูกคัดแยกเข้าสู่โครงสร้างสี่บทยอดสองระดับ เพื่อต่อการนำข้อมูลจุดในโครงสร้างสี่บทยอด ไปสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.2 ขบวนการจัดการข้อมูลให้เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างผิวโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม

ในงานวิจัยนี้ขอนิยามสัญลักษณ์เพื่อช่วยในการบ่งชี้ข้อมูลเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ ข้อมูลจุดจำนวนหนึ่งที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน เป็นการลดจำนวนตัวแทนข้อมูลเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลและเก็บบันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจุด

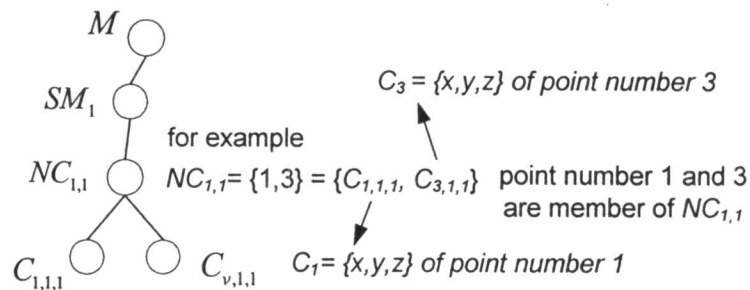
M : เป็นเซตของตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิววัตถุ, $P_i \in M; i = 1, 2, \dots, n$ โดย ที่ i เป็นตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิววัตถุซึ่งเป็นจำนวนตัวเลขที่บอกลำดับของข้อมูลจุด อินพุตที่นำมาใช้ในการคำนวณในขบวนการจัดการข้อมูล และข้อมูลจุดของผิววัตถุมีลักษณะการ กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ 3 มิติ (3D Space) คือ \mathbb{R}^3 ซึ่งข้อมูลจุดของผิววัตถุเหล่านี้จะนำไปสร้าง โครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม

SM_m : เป็นเซตของตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดภายในพาร์ติชัน (Partition) ของข้อมูลจุด ของผิววัตถุ ซึ่งเป็นการแบ่งส่วนจากข้อมูลจุดของผิววัตถุ และเซตเหล่านี้เป็นการจัดการโครงสร้าง สี่บทยอดในระดับที่หนึ่ง (SM) โดยใช้ความคล้ายคลึงกันของระยะทางเป็นข้อกำหนดสำหรับการ แบ่งส่วนข้อมูลจุดของผิววัตถุที่มีการกระจายตัวเกินกว่าข้อกำหนดที่ตั้งไว้ในการสร้างโครงสร้างตา ข่ายสามเหลี่ยม โดยที่ตัวบ่งชี้แต่ละพาร์ติชัน คือ m ซึ่ง $m = 1, 2, \dots, n$.

$NC_{c,m}$: เป็นพาร์ติชันย่อยหรือสับเซตของเซตตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดในแต่ละพาร์ติชัน ของข้อมูลจุดของผิววัตถุ (SM_m) โดยที่ตัวบ่งชี้แต่ละพาร์ติชันย่อย (Sub-Partition) นี้คือ c ซึ่ง $c = 1, 2, \dots, n$ สับเซตเหล่านี้เป็นการจัดการ โครงสร้างสี่บทยอดในระดับที่สอง (NC) และสมาชิก ของ $NC_{c,m}$ เป็นค่าตัวบ่งชี้ของข้อมูลจุดภายในพาร์ติชันย่อย

$C_{v,c,m}$: เป็นสมาชิกของสับเซต $NC_{c,m}$ คือ ค่าตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิววัตถุที่ v ของพาร์ติชัน (SM_m) และพาร์ติชันย่อย ($NC_{c,m}$) โดยที่ $C_{v,c,m}$ เรียกว่าเซลล์ (Cell) และ v เป็นค่าตัวบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิววัตถุที่อยู่ในพาร์ติชันย่อยที่ c ตามรูปที่ 4.3

$C_i = \{P_i\} : P_i \in M, i = 1, 2, \dots, n$ โดยที่ C_i คือ จุดพิคัด 3 มิติ ของข้อมูลจุดอินพุตอันดับที่ i ซึ่งเป็นค่าตัวบ่งชี้ของข้อมูลจุดของผิววัตถุ



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของข้อมูลการสืบทอดระดับชั้น

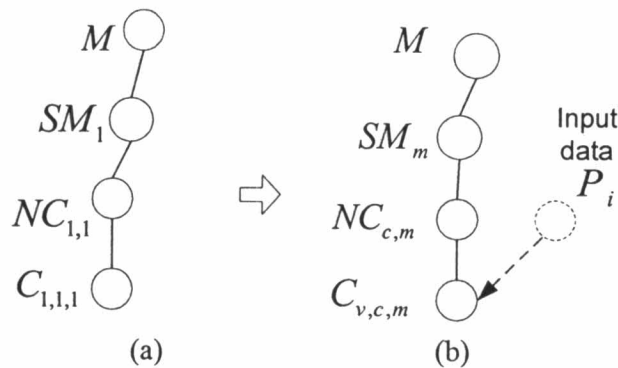
นอกจากสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ด้านบนแล้วยังมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นเพื่อเริ่มต้นการค้นหาข้อมูลจุดที่มีความคล้ายคลึงกันซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ คือ ค่าจำกัดความยาว (Limited Length) ของความคล้ายคลึงกัน (ρ) ซึ่งแทนค่าระยะทางที่ถูกจำกัดระหว่างข้อมูลจุดเพื่อใช้สำหรับเป็นกฎเกณฑ์ในขบวนการคัดแยกกลุ่มข้อมูล (Clustering Process)

หลังจากขบวนการคัดแยกกลุ่มข้อมูลแล้ว ชุดของข้อมูลจุดซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายคลึงกันจะถูกแยกเข้าสู่พาร์ติชันเดียวกัน ซึ่งพาร์ติชันเหล่านี้มีจำนวน n ของดิสจอยท์ (Disjoint) โดยที่แต่ละพาร์ติชันของข้อมูลจุดจะอธิบายในรูปของเซตของตัวบ่งชี้ของข้อมูลจุดภายในพาร์ติชัน คือ $SM_1, SM_2, \dots, SM_m, \dots, SM_n$ ซึ่งพาร์ติชันนั้นเป็นการแบ่งส่วนข้อมูลจุดจากข้อมูลจุดของผิววัตถุเป็นโครงสร้างสืบทอดระดับที่หนึ่ง (SM) และพาร์ติชันยังจะถูกคัดแยกเข้าสู่พาร์ติชันย่อย หรือกล่าวได้ว่า $NC_{c,m}$ เป็นสับเซตของ SM_m ดังนั้น $NC_{c,m}$ เป็นสมาชิกของโครงสร้างสืบทอดระดับที่สอง (NC) คือ $NC_1, NC_2, \dots, NC_c, \dots, NC_n$ โดยที่โครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมจะถูกสร้างจากข้อมูลจุดที่ถูกจัดการแล้วในโครงสร้างสืบทอดในระดับที่สอง

โดยสรุปว่าขบวนการจัดการและคัดแยก $\Phi(P_i)$ หรือขบวนการถ่ายทอดรูปแบบ (Mapping) จากข้อมูลจุดของผิววัตถุให้มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างการสืบทอดสองระดับ (Two-Level Hierarchical Cluster) ตามการกระจายตัวของข้อมูลจุดของผิววัตถุหรือขบวนการ $\Phi(P_i) : M \rightarrow SM \rightarrow NC$ ซึ่งใช้คุณสมบัติของความคล้ายคลึงกันระหว่างข้อมูลจุด

ที่ SM หรือโครงสร้างสืบทอดระดับที่หนึ่ง ประกอบไปด้วยพาร์ติชันของ M ดังนั้น SM ประกอบไปด้วยเซตที่ไม่ว่าง (Nonempty Sets) เป็นสมาชิกของ SM คือ $\{SM_1, SM_2, \dots, SM_n\}$ ดังนั้นจึงเขียนได้ว่า $M = SM_1 \cup SM_2 \cup \dots \cup SM_n$ และในแต่ละเซตสำหรับ SM_1, SM_2, \dots, SM_n จะต้องไม่มีสมาชิกที่เหมือนกัน กล่าวคือ เป็นดิสจอยต์เซต (Disjoint Sets) สำหรับ $m, l = 1, 2, \dots, n$ และ $SM_m \cap SM_l = 0$ เมื่อไรก็ตามที่ $m \neq l$ และเช่นเดียวกันสำหรับ NC หรือโครงสร้างสืบทอดระดับที่สองซึ่งมีสมาชิกเป็นพาร์ติชันย่อยของแต่ละพาร์ติชันของเซต SM_m ดังนั้น NC จะประกอบไปด้วยเซตที่ไม่ว่าง (Nonempty Sets) ซึ่งเป็นสับเซตของเซต SM_m สมาชิกของ NC คือ $\{NC_1, NC_2, \dots, NC_n\}$ ดังนั้น $SM_m = NC_1 \cup NC_2 \cup \dots \cup NC_n$ และในแต่ละเซตของ NC_1, NC_2, \dots, NC_n จะต้องไม่มีสมาชิกที่เหมือนกัน กล่าวคือ เป็นดิสจอยต์เซต (Disjoint Sets) สำหรับ $c, d = 1, 2, \dots, n$ และ $NC_c \cap NC_d = 0$ เมื่อ $c \neq d$

รูปที่ 4.4(a) แสดงโครงสร้างเน็ตเวิร์กพื้นฐาน ซึ่งประกอบไปด้วย 4 โหนด คือ ข้อมูลจุดของผิววัตถุ (M) พาร์ติชันของข้อมูลจุดของผิววัตถุ (SM_1) พาร์ติชันย่อยของ SM_1 ($NC_{1,1}$) และ เซลล์ ($C_{1,1,1}$) คือ ข้อมูลจุดอินพุตอันดับที่ 1 ของข้อมูลจุดของผิววัตถุ ซึ่งเป็นสมาชิกของ $NC_{1,1}$



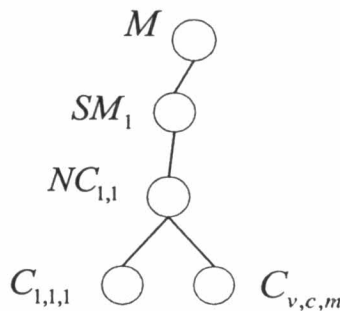
รูปที่ 4.4 โครงสร้างเน็ตเวิร์กพื้นฐาน (Basic Network Structure)

เทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้ระยะทางระหว่างข้อมูลจุดภายในพาร์ติชันย่อย ($NC_{c,m}$) ของแต่ละพาร์ติชันของข้อมูลจุดของผิววัตถุที่ค่าบ่งชี้ที่ m (SM_m) กับข้อมูลจุดอินพุตใหม่ C_i เพื่อค้นหาความคล้ายคลึงกันระหว่างข้อมูลจุดที่มีอยู่ในโครงสร้างสืบทอดของทุกพาร์ติชันกับข้อมูลจุดอินพุตใหม่โดยใช้สมการ $(D_v)_{c,m} = \|(C_v)_{c,m} - C_i\|$ โดยที่ $\| \cdot \|$ แทนระยะทางยูคลีเดียน (Euclidean Distance) ดังนั้น $(D_v)_{c,m}$ คือ เซต $\{d_1, d_2, \dots, d_v\}_{c,m}$ ของระยะทางระหว่างข้อมูลจุด $(C_v)_{c,m}$ และ ข้อมูลจุดอินพุตใหม่ C_i โดยที่ $(C_v)_{c,m}$ คือ จุดพิกัด 3 มิติ

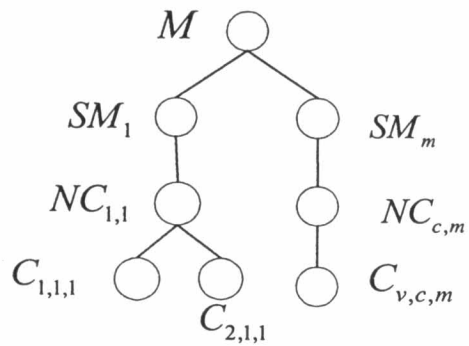
ภายในพาร์ติชันย่อยที่ c ของพาร์ติชันที่ m ที่ค่าตัวบ่งชี้ของข้อมูลจุดของพิวัดที่ v ซึ่งเป็นสมาชิกของสับเซต $NC_{c,m}$ และเป็นสมาชิกของเซต SM_m และ C_i คือ จุดพิกัด 3 มิติของข้อมูลจุดอินพุต (P_i) ตามที่แสดงในรูปที่ 4.4(b) ค่าระยะทางในเซตของ $(D_v)_{c,m}$ จะถูกใช้สำหรับการคัดแยกข้อมูลจุดโดยการเปรียบเทียบกับค่าจำกัดความยาว (Limited Length) ความคล้ายคลึงกัน (ρ) ซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข สำหรับแนวคิดในการคัดแยกข้อมูลจุด

ในขบวนการคัดแยกข้อมูลจุดของพิวัดนั้น มีเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ 4 กรณี ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นขบวนการการเรียนรู้และเพิ่มโหนดข้อมูลเข้าสู่โครงสร้างเน็ตเวิร์ก (Learning and Insertion) หรือโครงสร้างสืบทอดที่ปรับตัวเองได้สองระดับสำหรับทุกๆ ข้อมูลจุดอินพุต โดยขอนิยามเซต (L_g) ซึ่งเป็นสับเซตของเซตระยะทาง $(D_g)_{c,m}$ โดยที่เซต (L_g) มีสมาชิก คือ $\{d_1, d_2, \dots, d_g\}$ ซึ่งทุกๆ ค่าระยะทาง (d_g) ในเซตจะต้องมีค่าน้อยกว่า ρ และจำนวนสมาชิกของเซต $(L_g)_{c,m}$ จะบ่งชี้ถึงเหตุการณ์ว่าในกรณีใดที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น

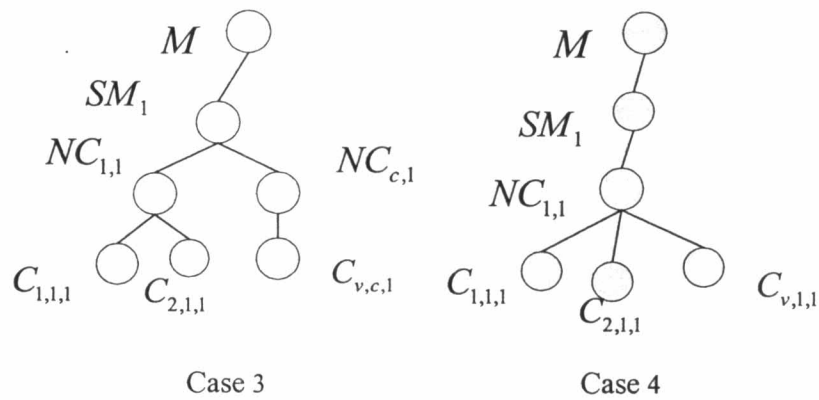
- กรณี 1 ถ้า $g = 1$ และจำนวนของสมาชิกในเซต $NC_{c,m}$ เท่ากับ 1
- กรณี 2 ถ้า $g = 0$
- กรณี 3 ถ้า $g = 1$ และจำนวนของสมาชิกในเซต $NC_{c,m}$ มากกว่า 1
- กรณี 4 ถ้า $g > 1$



Case 1

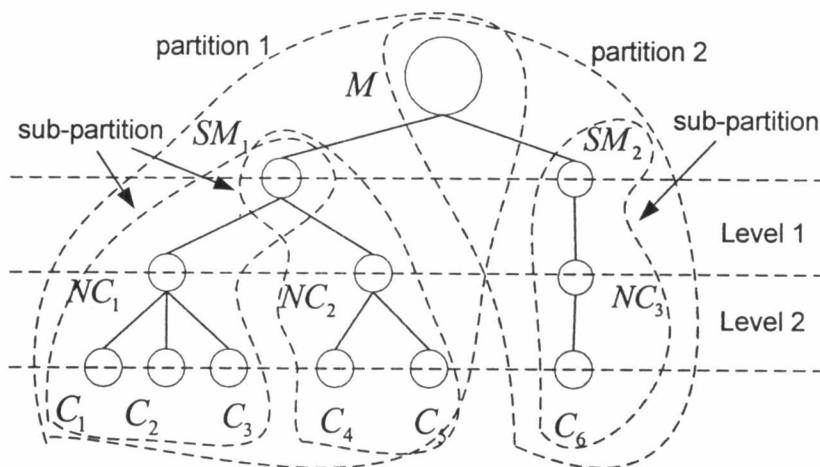


Case 2



รูปที่ 4.5 ขบวนการการเรียนรู้และเพิ่มโหนดข้อมูลจุดเข้าสู่โครงสร้างเน็ตเวิร์ค

4.1.3. ขบวนการลบและรวมข้อมูล (Deletion and Combination Process)

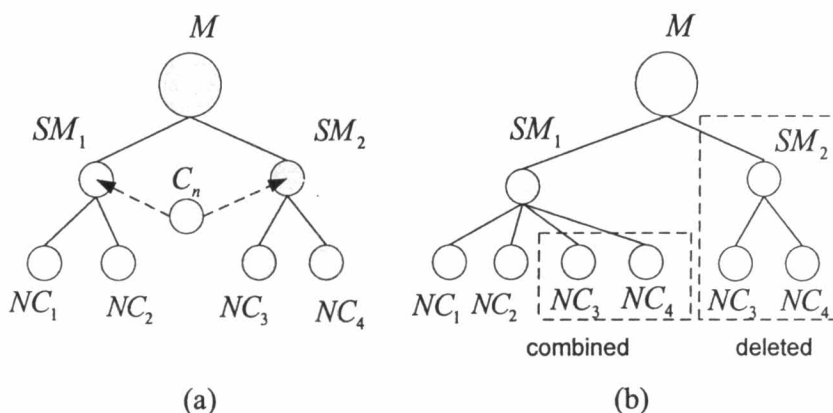


รูปที่ 4.6 พาร์ติชันและพาร์ติชันย่อยของข้อมูลจุดภายในโครงสร้างสี่ทอดสองระดับ

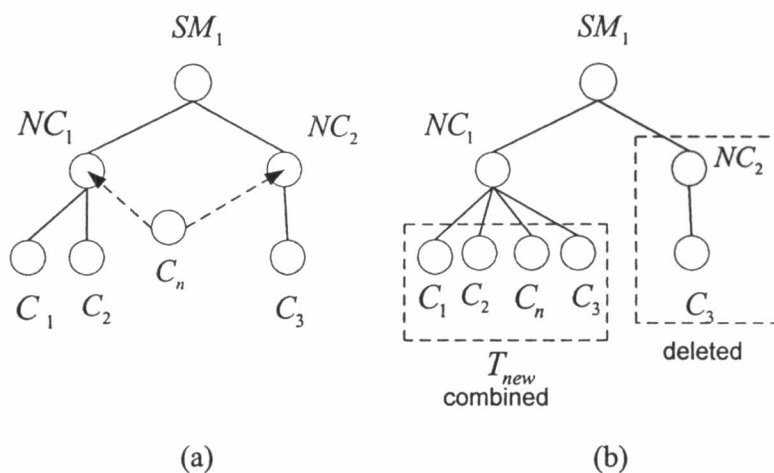
ขบวนการลบและการรวมข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อมีเหตุการณ์ในกรณี 2 และกรณี 3 เกิดขึ้นมาแล้วในขบวนการจัดการและคัดแยกกลุ่มข้อมูล นั้นแสดงว่ามีจำนวนพาร์ติชันมากกว่าหนึ่งพาร์ติชัน คือ SM_1 และ SM_2 หรือ มีจำนวนพาร์ติชันย่อยมากกว่าหนึ่งพาร์ติชันย่อย คือ NC_1 และ NC_2 ดังแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นขบวนการลบและการรวมข้อมูลของโครงสร้างสี่ทอดทั้งสองระดับ โดยที่ในโครงสร้างสี่ทอดระดับที่หนึ่งแสดงในรูปที่ 4.7(a) เมื่อเซต $(L_g)_{c,m}$ ซึ่งเป็นเซตของระยะทางระหว่างข้อมูลจุดในแต่ละพาร์ติชันที่ m ใดๆ กับข้อมูลจุด

อินพุตใหม่นั้น มีค่าน้อยกว่าค่าจำกัดความยาว (ρ) และ $(L_g)_{c,m}$ ของพาร์ติชันที่ m ใดๆ ไม่ใช่เซตว่างและมีมากกว่าหนึ่งพาร์ติชันที่เซต $(L_g)_{c,m}$ ไม่ใช่เซตว่าง



รูปที่ 4.7 ขบวนการลบและการรวมข้อมูลของโครงสร้างสี่บทระดับที่หนึ่ง



รูปที่ 4.8 ขบวนการลบและการรวมข้อมูลของโครงสร้างสี่บทระดับที่สอง

ดังนั้นพาร์ติชันเหล่านั้นสามารถที่รวมเข้ากันได้ เนื่องจากข้อมูลจุดอินพุตใหม่มีความคล้ายคลึงกับข้อมูลจุดภายในพาร์ติชันเหล่านั้น ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7(b) และหลังจากการรวมกันของพาร์ติชันแล้ว พาร์ติชันเดิมจะต้องถูกลบออกจากโครงสร้างสี่บท

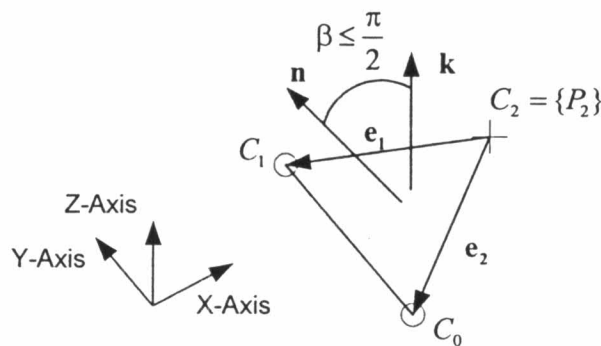
เช่นเดียวกันในโครงสร้างสี่บทระดับที่สองตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.8(a) เมื่อเซต $(L_g)_{c,m}$ ของแต่ละพาร์ติชันย่อยที่ c มีมากกว่าหนึ่งพาร์ติชันย่อย ที่เซต $(L_g)_{c,m}$ ไม่ใช่เซตว่าง นั้น แสดงว่าพาร์ติชันย่อยสามารถรวมเข้ากันได้ เนื่องจากข้อมูลจุดอินพุตใหม่มีความคล้ายคลึงกับข้อมูลจุดภายในพาร์ติชันย่อยเหล่านั้น ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.8(b)

เมื่อขบวนการเรียนรู้และเพิ่ม โหนดข้อมูลรวมถึงขบวนการลบและรวมข้อมูลภายในโครงสร้างสี่เหลี่ยมได้ดำเนินการสิ้นสุดลงสำหรับข้อมูลจุดภายในทุกพาร์ติชันและทุกพาร์ติชันย่อยของพาร์ติชัน นั่นคือ ระบบการเรียนรู้เพื่อจัดการกับข้อมูลจุดอินพุตใหม่ที่เข้ามาในระบบ ดังนั้นในหนึ่งวัฏจักรระบบการเรียนรู้และสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม (Triangular Mesh) ของหนึ่งข้อมูลจุดอินพุตนี้ โครงสร้างการสี่เหลี่ยมสองระดับของระบบนิเวศเน็ตเวิร์คได้มีการเรียนรู้และปรับตัวเอง ซึ่งมีการเพิ่ม โหนดข้อมูลอินพุตใหม่หรือลบ โหนดข้อมูลซ้ำกันของข้อมูลเดิมภายในโครงสร้างสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นข้อมูลจุดภายในโครงสร้างสี่เหลี่ยมที่ได้ถูกปรับโครงสร้างแล้ว โดยที่ข้อมูลจุดซึ่งอยู่ในพาร์ติชันย่อยที่ c ของเซตตัวบ่งชี้ $NC_{c,m}$ นั้นระยะทางระหว่างข้อมูลจุดเหล่านี้จะมีค่าน้อยกว่าค่าจำกัดความยาว (ρ) หรือค่าจำกัดความยาวขอบของผิวสามเหลี่ยม ซึ่งข้อมูลจุดเหล่านี้จะเชื่อมโยงกันเพื่อสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมที่เหมาะสมซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป นั่นคือ สิ้นสุดวัฏจักรในการจัดการหนึ่งข้อมูลจุดอินพุต หลังจากนั้นข้อมูลจุดอินพุตใหม่ก็เข้าสู่ในระบบการจัดการข้อมูลต่อไป จนกระทั่งครบจำนวนของข้อมูลจุดของผิววัตถุ

4.2. การสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม (The Triangular Mesh Creation)

จากระบบการจัดการข้อมูลได้ดำเนินการตามขบวนการแล้วทำให้โครงสร้างสี่เหลี่ยมในระดับที่สองซึ่งมีข้อมูลจุดภายในพาร์ติชันย่อยที่ c ใดๆ ของพาร์ติชันที่ m ด้วยเซตตัวบ่งชี้ $NC_{c,m}$ ซึ่งมีจำนวนสมาชิกเรียกว่าเซลล์ ($C_{v,c,m}$) ภายในพาร์ติชันย่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 3 และจำนวนสมาชิกในเซต (L_g) $_{c,m}$ มีมากกว่า 1 หรือ $g > 1$ นั้นแสดงว่าเหตุการณ์ในกรณีที่ 4 ซึ่งอยู่ในขบวนการเรียนรู้สำหรับการจัดการข้อมูลตามที่กล่าวมาแล้วนั้นเกิดขึ้น

4.2.1. การสร้างผิวสามเหลี่ยมเริ่มต้น (The First Triangle Creation)



รูปที่ 4.9 ทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากสำหรับผิวสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างครั้งแรก

เมื่อจำนวนเซลล์ซึ่งเป็นสมาชิกของพาร์ติชันย่อย $NC_{c,m}$ เท่ากับ 3 ดังนั้นผิวสามเหลี่ยมสามารถที่จะสร้างได้ โดยมีค่ามุม β เป็นค่าในการกำหนดทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยมตามรูปที่ 4.9 มุม β เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ \mathbf{k} ซึ่งเป็นเวกเตอร์ตามแกน Z โดยที่แกนนี้เป็นระบบแกนของข้อมูลจุดที่ได้มาจากการวัดพิคคของผิววัดด้วยเครื่องวัดพิคค 3 มิติ หรือกำหนดโดยผู้ใช้ กับเวกเตอร์ \mathbf{n} ที่มีทิศทางตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยม T_1 ซึ่งสามารถจะคำนวณได้ตามสมการข้างล่างนี้

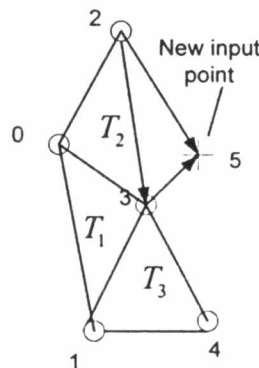
$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2}{|\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2|} \tag{3.1}$$

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}}{nk} \right] \tag{3.2}$$

ตัวอย่างในรูปที่ 4.9 เวกเตอร์ $\mathbf{e}_1 = \overline{C_2C_1}$ และเวกเตอร์ $\mathbf{e}_2 = \overline{C_2C_0}$ ถ้า $\beta \leq \pi/2$ ดังนั้นผิวสามเหลี่ยมสามารถถูกสร้างขึ้นและทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวนั้นจะขึ้นอยู่กับอันดับการเรียงกันของตัวบ่งชี้ซึ่งเป็นตัวเลขอันดับของข้อมูลจุดอินพุตซึ่งได้เข้าสู่กระบวนการจัดการข้อมูลแล้ว สำหรับทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากในรูปที่ 4.9 อันดับของตัวบ่งชี้คือ $\{C_2, C_1, C_0\}$ เมื่อ $\beta \leq \pi/2$ และถ้า $\beta > \pi/2$ อันดับตัวบ่งชี้จะเป็น $\{C_2, C_0, C_1\}$ ซึ่งเป็นการบอกรวมส่วนประกอบของผิวสามเหลี่ยมด้วย 3 จุดพิคค ในอีกลักษณะหนึ่งบอกได้ด้วย 3 เส้นตรงซึ่งมาประกอบกันเป็นผิวสามเหลี่ยม คือ $\{\overline{C_2C_1}, \overline{C_1C_0}, \overline{C_0C_2}\}$ หรือ $\{\overline{C_2C_0}, \overline{C_0C_1}, \overline{C_1C_2}\}$ ตามทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยม

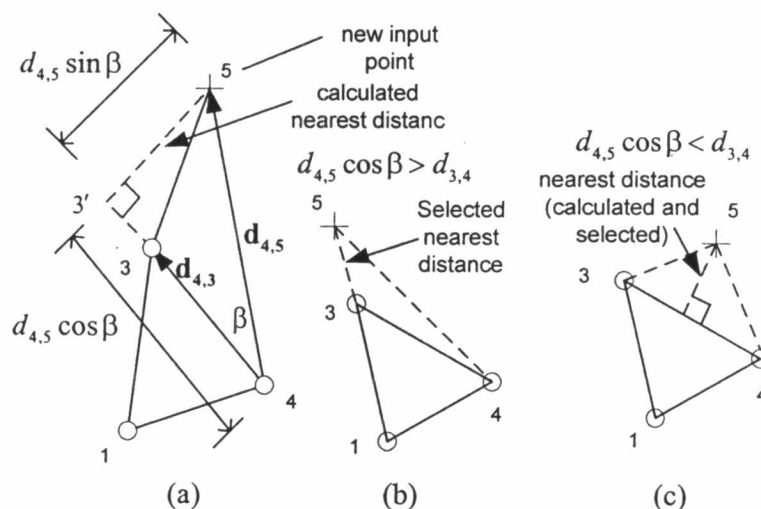
4.2.2. การสร้างผิวสามเหลี่ยมทั่วไป (The General Triangle Creation)

ผิวสามเหลี่ยมอื่นๆ จะถูกสร้างตามมาหลังจากผิวสามเหลี่ยมแรกได้สร้างแล้วตามที่แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การสร้างผิวสามเหลี่ยมอื่นๆหลังจากผิวสามเหลี่ยมแรกถูกสร้างขึ้น

ผิวสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จะต้องมีขอบด้านหนึ่งซึ่งจะต้องไปต่อเข้ากับขอบของผิวโครงสร้างสามเหลี่ยมที่มีอยู่แล้ว ขอบของผิวสามเหลี่ยมที่ต่อเชื่อมระหว่าง 2 ผิวนั้นเรียกว่าขอบร่วม (Shared Edge) โดยที่ขอบร่วมนี้จะขอบที่เหมาะสมของโครงสร้างสามเหลี่ยมสำหรับที่ผิวสามเหลี่ยมใหม่จะสร้างด้วยขอบร่วมนี้ด้วย ดังนั้นจะต้องค้นหาขอบร่วมที่ดีที่สุดสำหรับผิวสามเหลี่ยมใหม่ที่เกิดขึ้นโดยข้อมูลจุดอินพุตหมายเลข 5 ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.10 และเพื่อการค้นหาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพจะค้นหาขอบร่วมของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมที่เฉพาะตามขอบนอกสุดของผิวโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม (Boundary Triangular Mesh, BTM) โดยที่ BTM ประกอบไปด้วยขอบของผิวสามเหลี่ยมที่ไม่มีขอบใดเลยที่เป็นขอบร่วมกับผิวสามเหลี่ยมผิวอื่นๆ หรือ BTM ประกอบด้วยขอบด้านนอกของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม โดยที่ BTM จะลดการคำนวณและจำนวนขอบในการค้นหาโดยเฉพาะในข้อมูลขนาดใหญ่ ตัวอย่างในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า BTM ของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมที่มีอยู่แล้วและมีข้อมูลจุดอินพุตหมายเลข 5 เป็นข้อมูลจุดอินพุต นั้นประกอบไปด้วยขอบดังนี้ $\overline{C_0C_1}$, $\overline{C_3C_2}$, $\overline{C_2C_0}$, $\overline{C_4C_3}$, และ $\overline{C_1C_4}$

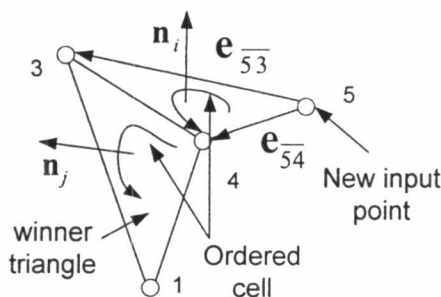


รูปที่ 4.11 การค้นหาระยะทางใกล้ที่สุดระหว่างข้อมูลจุดอินพุตใหม่กับ BTM

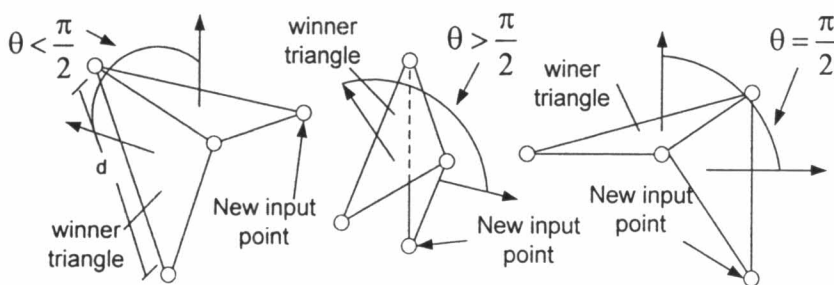
รูปที่ 4.11 แสดงถึง 2 เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในการค้นหาขอบร่วมที่ดีที่สุดซึ่งก็คือขอบที่มีระยะทางใกล้กับข้อมูลจุดอินพุตจุดใหม่มากที่สุด ในกรณีที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ถูกฉายออกนอกขอบที่กำลังถูกพิจารณาของผิวโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมตามที่ได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.11(b) กรณีที่ 1 $d_{4,5} \cos \beta > d_{3,4}$ ดังนั้นระยะทางใกล้ที่สุดคือ $d_{3,4}$ ถ้าในกรณีที่ 2 ในรูปที่ 4.11(c) $d_{4,5} \cos \beta < d_{3,4}$ โดยมีระยะทางใกล้ที่สุดคือ $d_{3,5} = d_{4,5} \sin \beta$ โดยที่ β จะคำนวณได้จากสมการที่ (3.2) ผิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่จะมีขอบร่วมกับขอบที่ใกล้ที่สุดจากข้อมูลจุด

อินพุตใหม่ของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม และจะเรียกขอบร่วมที่ดีที่สุดว่า ขอบวินเนอร์ (Winner Edge)

ตัวอย่างในรูปที่ 4.11 ถ้าสมมุติว่าขอบวินเนอร์ คือ $\overline{C_3C_4}$ และผิวสามเหลี่ยมที่มีขอบเป็นขอบวินเนอร์จะเรียกว่าผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขอบ $\overline{C_3C_4}$, $\overline{C_3C_1}$ และ $\overline{C_1C_4}$ และอันดับของค่าบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์จะบอกถึงทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.12 เวกเตอร์ตั้งฉาก คือ \mathbf{n}_j ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่(3.1) และอันดับของค่าบ่งชี้ข้อมูลจุด คือ $\{C_4, C_3, C_1\}$ อันดับจะหมุนวนไปตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และสำหรับผิวสามเหลี่ยมที่จะถูกสร้างขึ้นมานั้นจะอาศัยอันดับของค่าบ่งชี้ข้อมูลจุดของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์นั้นเพื่อหาทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยมใหม่โดยอันดับจะหมุนวนไปในทิศทางเดียวกันด้วย คือ $\{C_5, C_3, C_4\}$



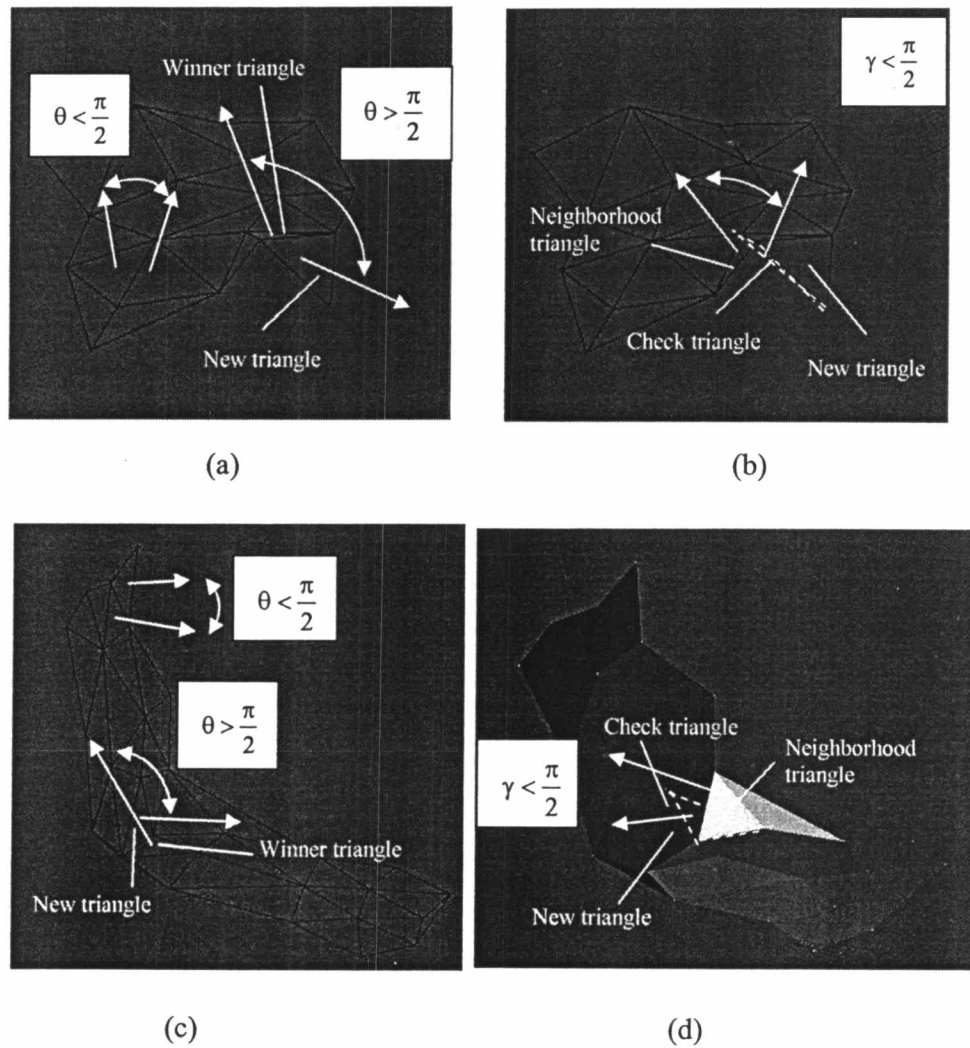
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของผิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่กับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์



รูปที่ 4.13 มุมระหว่างผิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่กับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์

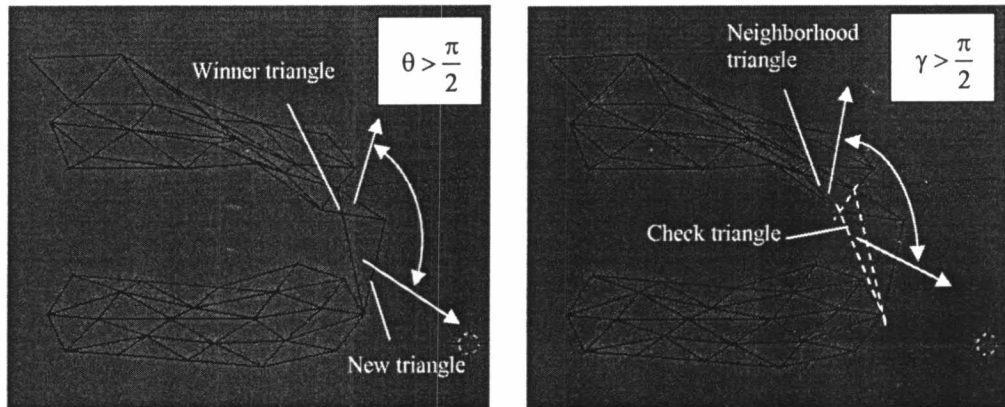
มีกรณีพิเศษบางกรณีที่ผิวของวัตถุ เช่น เป็นผิวที่ไม่ต่อเนื่อง ผิวที่มีความชันสูงมาก หรือข้อมูลจุดที่ผิดพลาดเนื่องมาจากในขั้นตอนของการวัดพิกัดบนผิววัตถุ ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบว่าสถานะตามที่กล่าวมานั้นจะเกิดขึ้นหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบด้วยมุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากของ

ผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์และเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมใหม่รวมไปถึงเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมบริเวณใกล้เคียง กับสามเหลี่ยมวินเนอร์ด้วย



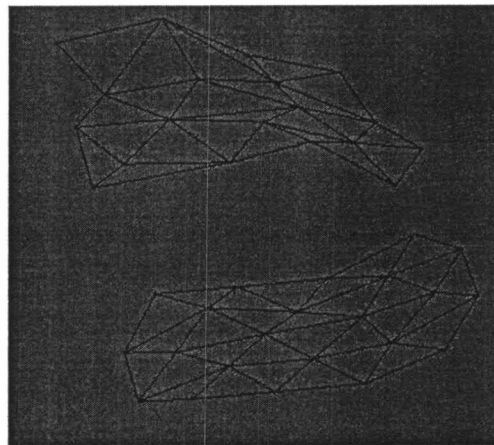
รูปที่ 4.14 ลักษณะผิวสามเหลี่ยมที่สามารถสร้างได้ในเงื่อนไข $g > 0$, $\theta > \pi/2$ และ $\gamma \leq \pi/2$

ในรูปที่ 4.13 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากด้วยมุม θ ซึ่งเป็นมุมระหว่างผิวสามเหลี่ยมที่จะถูกสร้างขึ้นใหม่กับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ โดยที่ถ้า $\theta \leq \pi/2$ ผิวสามเหลี่ยมสามารถถูกสร้างขึ้นได้ด้วยการใช้ขอบหนึ่งร่วมกับขอบของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ตัวอย่างลักษณะของผิวสามารถพิจารณาจากในบริเวณของผิวสามเหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันอย่างราบเรียบและต่อเนื่องแสดงในรูปที่ 4.14(a) และรูปที่ 4.14(c) เมื่อ $\theta < \pi/2$ แต่ถ้า $\theta > \pi/2$ นั้นแสดงให้เห็นว่าผิวสามเหลี่ยมใหม่ที่จะสร้างจากข้อมูลจุดอินพุตใหม่นั้นอาจจะเป็นผิวของวัตถุในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงด้วยความชันสูงหรือผิวที่มีความไม่ต่อเนื่อง และผิวที่ขรุขระซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.14(a) และ รูปที่ 4.14(c)



(a)

(b)



(c)

รูปที่ 4.15 ลักษณะผิวสามเหลี่ยมที่ไม่สามารถสร้างได้ในเงื่อนไข $g > 0$, $\theta > \pi/2$ และ $\gamma > \pi/2$

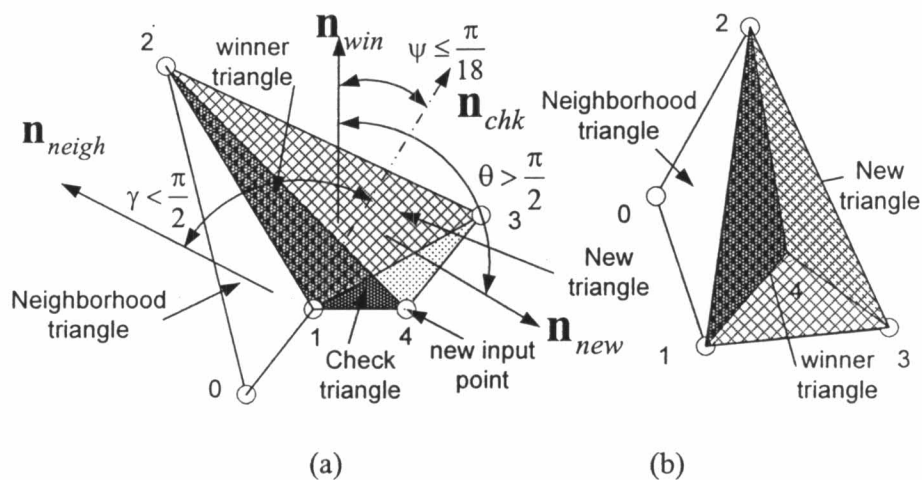
แต่เมื่อ $\theta > \pi/2$ นั้นแสดงว่าผิวของวัตถุในบริเวณนั้นอาจจะเป็นผิวขรุขระ ผิวไม่ต่อเนื่อง ผิวที่ความชันสูง หรือข้อมูลจุดอินพุตใหม่นี้ไม่อาจจะสร้างผิวสามเหลี่ยมได้เลยก็เป็นได้ ดังนั้นเพื่อความมั่นใจจึงต้องมีการตรวจสอบผิวสามเหลี่ยมบริเวณรอบๆ ของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ด้วยค่ามุม γ ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมที่อยู่รอบผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ กับเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบ โดยเฉพาะเรียกว่าผิวสามเหลี่ยมตรวจสอบ (Check Triangle) เมื่อลักษณะที่ผิวแสดงในรูปที่ 4.14(b) นั้นมี $\theta > \pi/2$ แสดงว่าผิวบริเวณนั้นอาจจะเป็นผิวที่ไม่เรียบและไม่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นเมื่อใช้ผิวสามเหลี่ยมตรวจสอบ (Check Triangle) ตรวจสอบความต่อเนื่องกับผิวสามเหลี่ยมบริเวณรอบๆ ของผิวสามเหลี่ยมวิน

เนอร์แล้วพบว่ามือน้อยหนึ่งมุมมี $\gamma \leq \pi/2$ ดังนั้นผิวของวัตถุบริเวณนี้เป็นผิวที่มีความไม่ต่อเนื่องหรือเป็นผิวที่มีความชันสูง ดังนั้นในกรณีสามารถสร้างผิวสามเหลี่ยมใหม่ได้ โดยในรูปที่ 4.14(b) แสดงว่าเป็นผิวที่ไม่ต่อเนื่อง และ รูปที่ 4.14(d) แสดงให้เห็นว่าเป็นผิวที่มีความชันสูง แต่ถ้ามุม $\gamma > \pi/2$ นั้นแสดงตัวอย่างลักษณะของผิวของวัตถุดังรูปที่ 4.15(a) เมื่อมุม $\theta > \pi/2$ นั้นแสดงว่าผิวของวัตถุในบริเวณนั้นอาจจะมีผิวที่ไม่ต่อเนื่อง ผิวที่มีความชันสูง หรือไม่อาจสร้างผิวสามเหลี่ยมใหม่สำหรับข้อมูลจุดอินพุตนี้ได้ แต่เมื่อมุม $\gamma > \pi/2$ ดังรูปที่ 4.15(b) นั้นแสดงว่าข้อมูลจุดอินพุตจุดนี้ไม่สามารถสร้างผิวสามเหลี่ยมได้โดยจะทำให้โครงสร้างดาข่ายที่สร้างขึ้นไม่ถูกต้องเนื่องจากผิวของวัตถุอาจจะมีลักษณะที่เป็นผิว 2 ผิวที่ขนานกันได้ดังรูปที่ 4.15(c) ซึ่งขณะนี้ยังไม่สามารถจะเชื่อมต่อกันได้จะต้องรอพิจารณาข้อมูลจุดอินพุตจุดต่อไปเพื่อพิจารณาการสร้างผิวสามเหลี่ยมเพื่อเชื่อมโยงต่อไป ดังนั้นข้อมูลจุดอินพุตจุดนี้จะต้องถูกคัดแยกเข้าสู่พาร์ติชันใหม่ของโครงสร้างสี่ทอดข้อมูลในกรณีพิเศษซึ่งมีระยะทางของข้อมูลจุดอินพุตกับข้อมูลจุดภายในโครงสร้างสี่ทอดนั้นไม่เกินค่าจำกัดความยาว ρ ดังนั้นค่าบ่งชี้ขนาดเซต ($g > 0$)

นอกจากนั้นค่ามุม $\theta > \pi/2$ และ $\gamma > \pi/2$ โดยที่ค่ามุม γ เป็นค่ามุมที่บอกถึงความใกล้เคียงกันของระนาบผิวสามเหลี่ยมที่จะถูกสร้างขึ้นใหม่กับระนาบผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดการซ้อนกันระหว่างสองผิวเมื่อผิวสามเหลี่ยมใหม่ถูกสร้างขึ้น ตามรูปที่ 4.16 ข้อมูลจุดอินพุตใหม่หมายเลข 4 ใกล้กับระนาบผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์มาก การตรวจสอบความใกล้เคียงมากหรือความซ้อนกันมากเกินไปนั้นจะใช้ค่ามุม ψ ซึ่งมุมนี้คือ มุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์และเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวสามเหลี่ยมตรวจสอบ โดยที่ผิวสามเหลี่ยมตรวจสอบถูกสร้างขึ้นจากขอบของระนาบผิวสามเหลี่ยมรอบๆ ผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์และขอบของระนาบผิวสามเหลี่ยมที่จะสร้างขึ้นใหม่

การพิจารณาเงื่อนไขว่าผิวสามเหลี่ยมใหม่นั้นควรจะถูกสร้างขึ้นใหม่จากข้อมูลจุดอินพุตหรือไม่ หรือว่าข้อมูลจุดอินพุตจะถูกคัดแยกเข้าสู่พาร์ติชันใหม่ของโครงสร้างสี่ทอดในกรณีพิเศษดังนี้

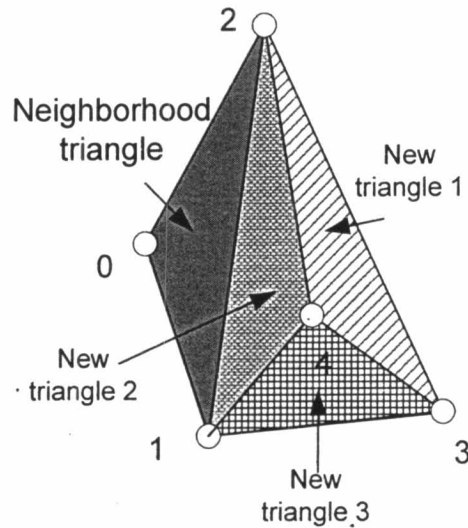
- 1) ถ้า $g > 0$, $\theta > \pi/2$ และ $\gamma \leq \pi/2$ ผิวสามเหลี่ยมใหม่สามารถสร้างได้
- 2) ถ้า $g > 0$, $\theta > \pi/2$ และ $\gamma > \pi/2$ ข้อมูลจุดอินพุตจะถูกคัดแยกเข้าสู่พาร์ติชันใหม่ของโครงสร้างสี่ทอด แต่หลังจากคัดแยกเข้าสู่พาร์ติชันใหม่แล้ว เงื่อนไข $g = 0$ อาจเกิดขึ้นกับการค้นหาความคล้ายคลึงของข้อมูลจุดอินพุตใหม่กับพาร์ติชันอื่นๆ อีก ดังนั้นเหตุการณ์ในกรณีที่ 2 อาจเกิดขึ้น ดังนั้นข้อมูลจุดอินพุตจึงถูกคัดแยกเข้าสู่ในกรณีที่ 2



รูปที่ 4.16 การตรวจสอบการซ้อนกันของผิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่

นอกจากเงื่อนไขที่ 1 แล้วถ้า $\psi \leq \pi/18$ นั้นแสดงว่าข้อมูลจุดอินพุตจะใกล้กับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์มาก ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.16 หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าทั้งสองผิวสามเหลี่ยมคือ ผิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่และผิวสามเหลี่ยมตรวจสอบเกือบจะซ้อนทับกันกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์จะถูกแยกผิวสามเหลี่ยมเป็นสามผิวดังนั้นเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวทั้งสามจะต้องพุ่งไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ก่อนจะถูกแยก การสร้างผิวแยก 3 ผิวของผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ใหม่จะแทนข้อมูลจุดอินพุตหมายเลข 4 หรือ C_4 เข้าสู่เซตของข้อมูลจุดการสร้างผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์คือ $\{C_3, C_2, C_1\}$ ดังนี้

ผิวสามเหลี่ยมแรกจะถูกสร้างโดยการเอา C_4 แทนเข้า C_3 ในเซต $\{C_3, C_2, C_1\}$ ดังนั้นจะได้รับเซตของผิวสามเหลี่ยมใหม่ผิวแรก $\{C_4, C_2, C_1\}$ เวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมของเซต $\{C_3, C_2, C_1\}$ และเวกเตอร์ตั้งฉากของเซต $\{C_4, C_2, C_1\}$ จะพุ่งไปในทิศทางเดียวกัน และเช่นเดียวกันผิวสามเหลี่ยมที่สองและที่สามจะเป็น $\{C_3, C_4, C_1\}$ และ $\{C_3, C_2, C_4\}$ ตามลำดับดังรูปที่ 4.17 นอกจากนั้นค่ามุม ψ จะกำหนดให้เป็นค่า $\pi/18$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากทดสอบจากประสบการณ์ว่าค่านี้เหมาะสมสำหรับผิวของวัตถุที่มีความซับซ้อนโดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามค่านี้สามารถถูกกำหนดได้โดยผู้ใช้ในช่วง $(0, \pi/2)$



รูปที่ 4.17 คิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ (Winner Triangle) ถูกแยกเป็น 3 คิว

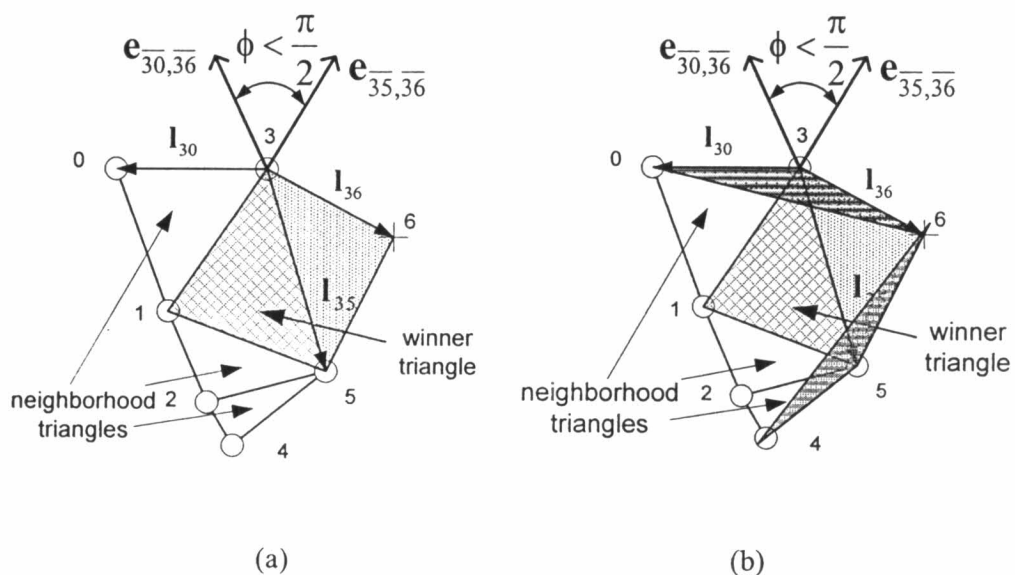
4.2.3. การสร้างคิวสามเหลี่ยมรอบๆ คิวสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นใหม่ (Creation of The Neighborhood Triangles of A New Triangle)

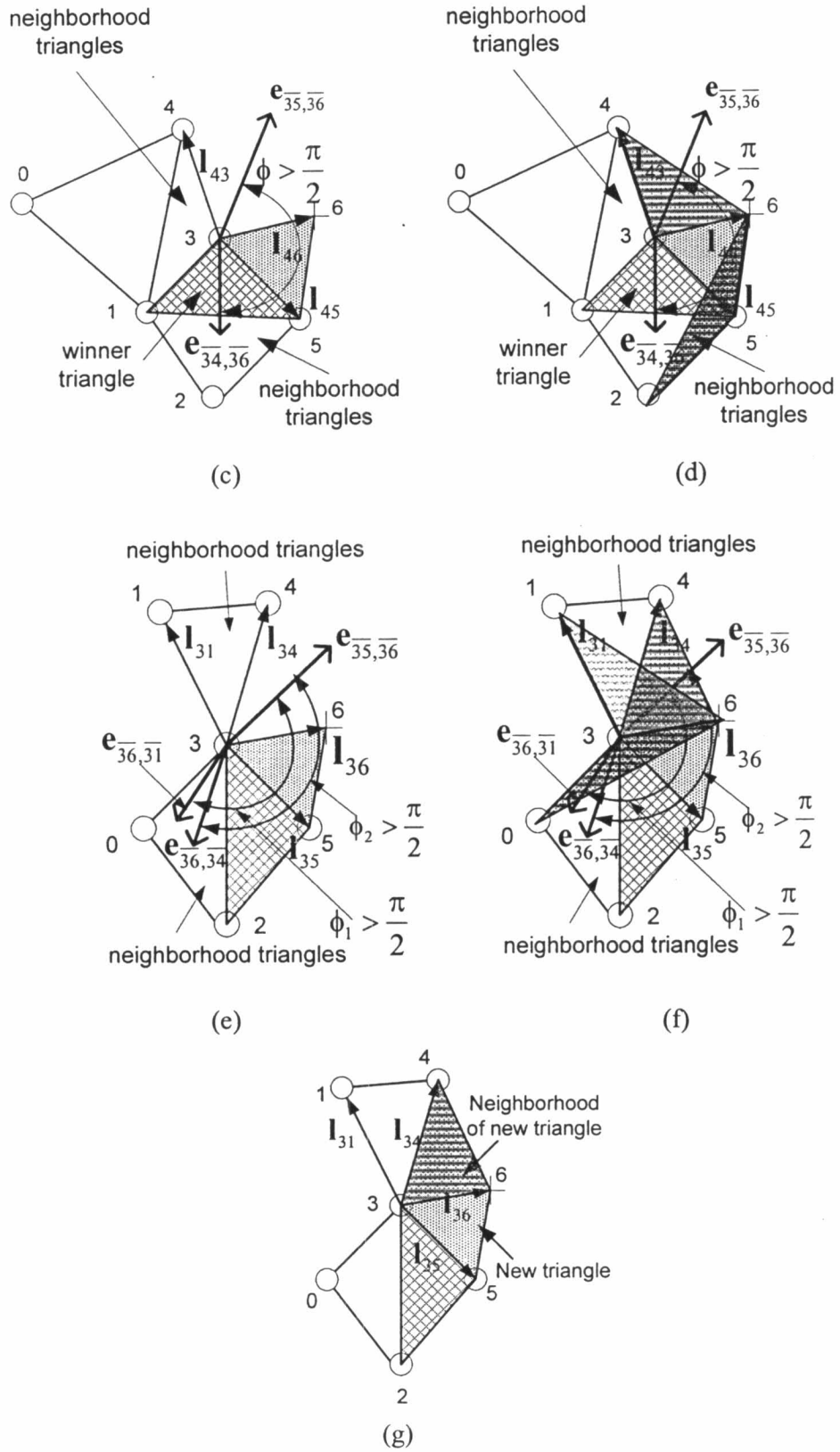
ในรูปที่ 4.18 หลังจากสร้างคิวสามเหลี่ยมใหม่ด้วยขอบหนึ่ง คือ $\overline{C_3C_5}$ ซึ่งเป็นขอบที่ใช้สร้างคิวสามเหลี่ยมร่วมกับขอบคิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ คิวสามเหลี่ยมอื่นๆ ซึ่งอยู่รอบๆ (Neighborhood Triangles) คิวสามเหลี่ยมใหม่ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถที่จะถูกสร้างขึ้นได้ โดยมีเงื่อนไขว่าคิวสามเหลี่ยมรอบๆ ที่ต้องการสร้างเพิ่มขึ้นนั้นจะต้องมีจุดปลายของคิวสามเหลี่ยมร่วมกันระหว่างจุดปลายของคิวสามเหลี่ยมใหม่และจุดปลายของคิวสามเหลี่ยมรอบๆ ที่สามารถสร้างขึ้นได้ และคิวสามเหลี่ยมที่สามารถสร้างเพิ่มขึ้นรอบๆ คิวสามเหลี่ยมใหม่จะต้องไม่ซ้อนทับกับโครงสร้างดาข่ายสามเหลี่ยมที่มีอยู่แล้ว โดยให้ขอบของคิวสามเหลี่ยมใหม่ที่สร้างเพิ่มขึ้นนี้จะต้องเชื่อมต่อกับโครงสร้างดาข่ายสามเหลี่ยมที่มีอยู่แล้วเฉพาะบริเวณขอบ (Boundary) ด้านนอกสุดของโครงสร้างดาข่ายสามเหลี่ยมซึ่งเรียกว่า Boundary Triangular Mesh, BTM ซึ่งคุณสมบัตินี้เป็นเงื่อนไขหนึ่งที่สำคัญในการลดจำนวนคิวสามเหลี่ยมรอบๆ ที่จะต้องถูกพิจารณาความเป็นไปได้ในการค้นหาขอบร่วมที่เหมาะสมที่จะเชื่อมโยงกับขอบของคิวสามเหลี่ยมที่สร้างเพิ่มขึ้น โดยในรูปที่ 4.18 แสดงถึงความเป็นไปได้ 3 กรณีในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการสร้างคิวสามเหลี่ยมที่เพิ่มขึ้นจากคิวสามเหลี่ยมใหม่ที่สร้างขึ้นแล้วโดยคิวสามเหลี่ยมทั้งหมดที่สร้างขึ้นใหม่นั้นมีจุดปลายร่วมกันซึ่งเกิดจากข้อมูลจุดอินพุตใหม่จุดเดียวกัน

กรณีแรก แสดงในรูปที่ 4.18(a) มี 3 ผิวสามเหลี่ยมซึ่งสามารถถูกพิจารณาความเป็นไปได้ว่าสามารถสร้างขึ้นได้หรือไม่ โดยในรูปที่ 4.18(b) นั้นแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 ผิวสามเหลี่ยมที่ถูกพิจารณานั้นไม่มีคุณสมบัติที่สามารถสร้างได้ เพราะทั้ง 2 ผิว คือ $\{C_6, C_3, C_0\}$ และ $\{C_4, C_5, C_6\}$ ที่สร้างขึ้นมานั้นซ้อนทับกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.18(b) และจริงๆ แล้วนั้นมีผิวสามเหลี่ยมอีก 3 ผิวที่ไม่ได้นำมาพิจารณาได้ คือ $\{C_2, C_5, C_6\}$, $\{C_6, C_3, C_1\}$ และ $\{C_1, C_5, C_6\}$ ซึ่งผิวสามเหลี่ยมเหล่านี้ไม่มีขอบใดๆ ต่อร่วมกับขอบที่มีคุณสมบัติเป็น BTM เลย ดังนั้นผิวสามเหลี่ยมนี้จึงไม่ถูกพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะถูกสร้างขึ้นได้

กรณีที่สอง แสดงในรูปที่ 4.18(c) มี 2 ผิวสามเหลี่ยมที่จะต้องถูกพิจารณา คือ $\{C_4, C_3, C_6\}$ และ $\{C_2, C_5, C_6\}$ จากรูปที่ 4.18(d) มีเพียงผิวสามเหลี่ยม $\{C_4, C_3, C_6\}$ เพียงผิวเดียวที่ไม่ซ้อนทับกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ ดังนั้น $\{C_4, C_3, C_6\}$ คือ ผิวสามเหลี่ยมที่สามารถสร้างเพิ่มขึ้นได้สำหรับข้อมูลจุดอินพุตจุดนี้

กรณีที่สาม แสดงในรูปที่ 4.18(e) มี 3 ผิวสามเหลี่ยมที่จะต้องถูกพิจารณา คือ $\{C_4, C_3, C_6\}$, $\{C_1, C_3, C_6\}$ และ $\{C_3, C_0, C_6\}$ จากรูปที่ 4.18(f) นั้นผิวสามเหลี่ยม $\{C_4, C_3, C_6\}$ และ $\{C_1, C_3, C_6\}$ ไม่ซ้อนทับกันกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ แต่มีการซ้อนทับกับผิวสามเหลี่ยมรอบๆ ผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ และมีการซ้อนทับกันระหว่าง 2 ผิวด้วย ซึ่งในกรณีนี้แสดงให้เห็นด้วยว่ามุม $\phi_1 > \pi/2$ และ $\phi_2 > \pi/2$

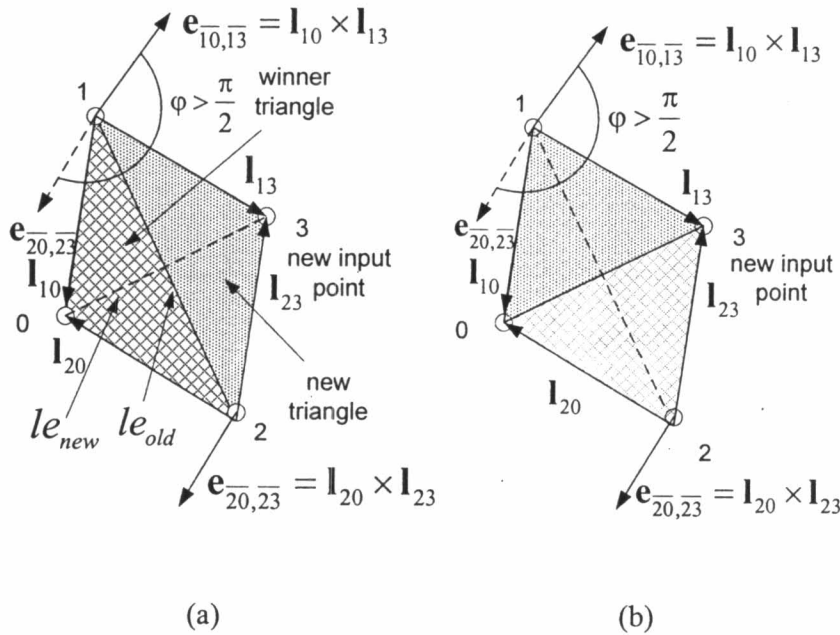




รูปที่ 4.18 กรณีที่จะเกิดขึ้นในการพิจารณาการสร้างผิวสามเหลี่ยมรอบๆ ผิวสามเหลี่ยมใหม่

มุม ϕ คือ มุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมใหม่และเวกเตอร์ตั้งฉากของผิวสามเหลี่ยมรอบๆนั้น ในรูปที่ 4.18(f) ผิวสามเหลี่ยม $\{C_4, C_3, C_6\}$ และ $\{C_1, C_3, C_6\}$ ทั้งสองไม่ซ้อนทับกันกับผิวสามเหลี่ยมวินเนอร์ แต่ทั้งสองซ้อนทับซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงจะต้องเลือกเพียงผิวเดียว โดยการพิจารณามุม ϕ ซึ่งมุมที่มีค่าน้อยที่สุดจะถูกเลือกที่สามารถที่สร้างผิวสามเหลี่ยมได้ ดังนั้นจากรูปที่ 4.18(f) ผิวสามเหลี่ยมจะสร้างขึ้นใหม่นั้น คือ $\{C_4, C_3, C_6\}$ และผลลัพธ์ของการสร้างผิวสามเหลี่ยมนี้จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.18(g)

4.2.4. การปรับการเชื่อมโยงโครงสร้างตาข่ายผิวสามเหลี่ยมแบบปรับตัวเองได้
(Adaptive Self-Adjustable Connectivity of Triangular Mesh Structure)



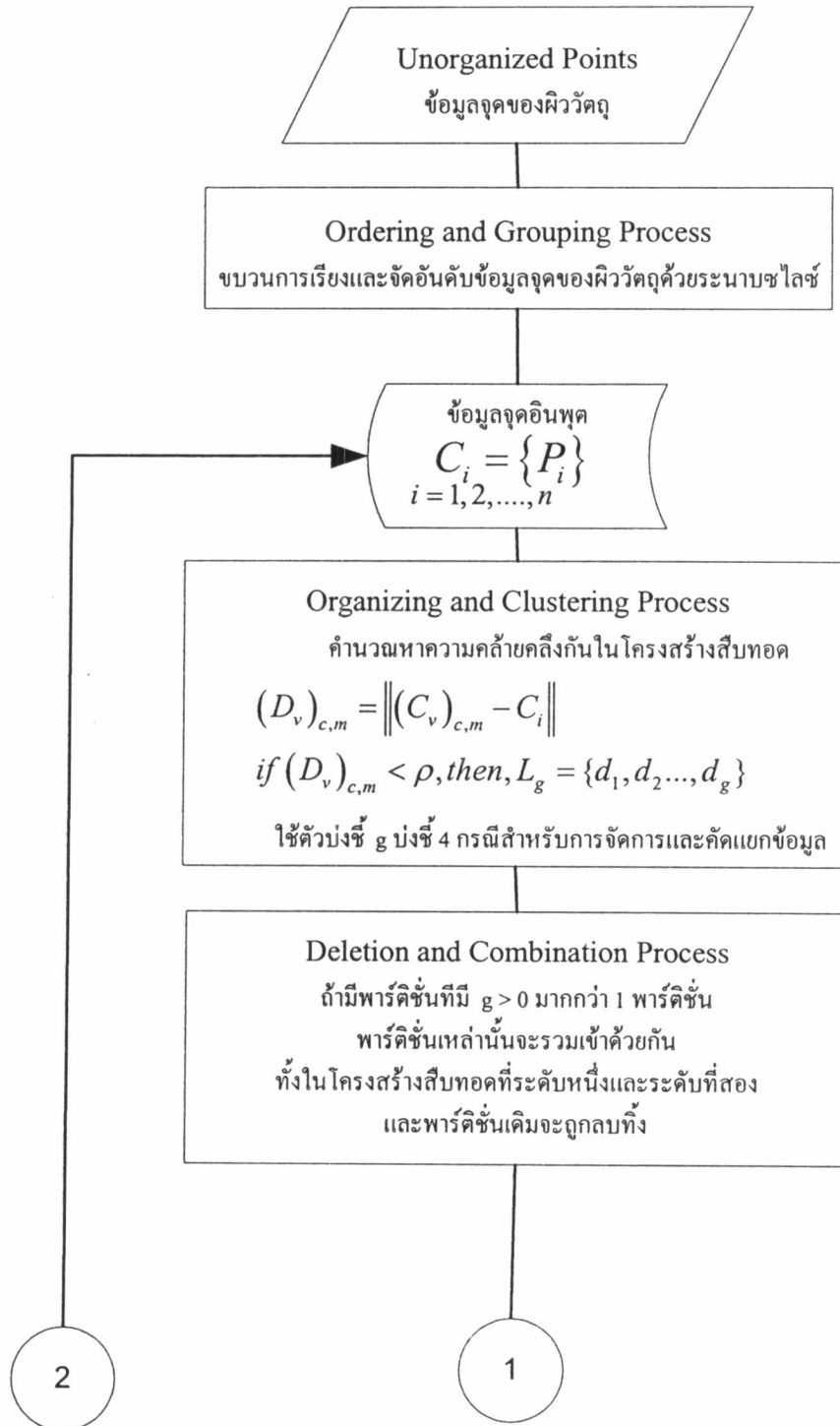
รูปที่ 4.19 การปรับตัวการเชื่อมโยงกันของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยม

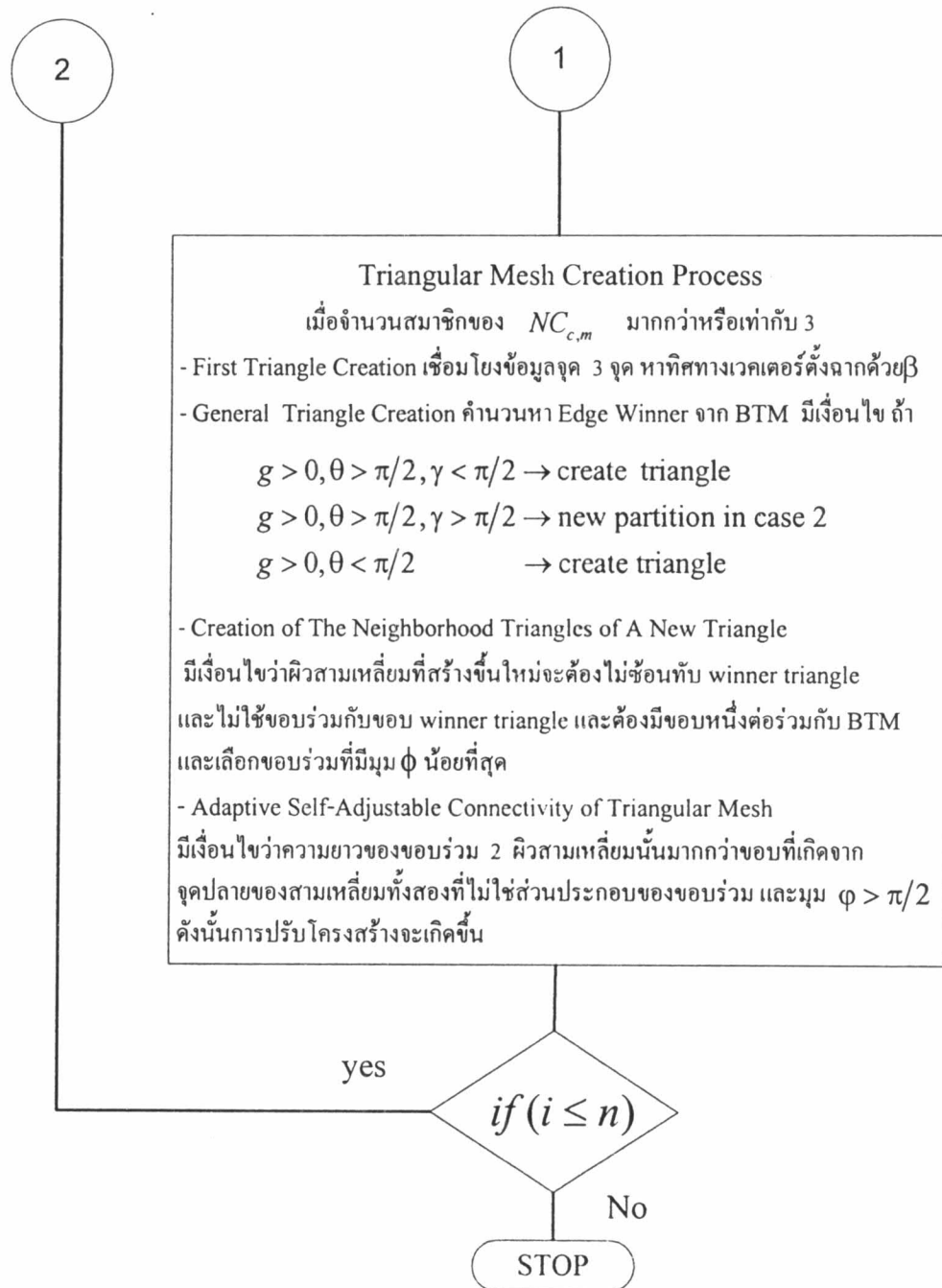
อัลกอริทึมในการปรับตัวเองแบบอัตโนมัติที่จะนำเสนอนี้ก็เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของการเชื่อมโยงของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมให้มีความเหมาะสมขึ้น สามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างดังรูปที่ 4.19 โดยมีผิวสามเหลี่ยม 2 ผิวที่ใช้ขอบร่วมกัน คือ l_{12} เป็นขอบร่วมระหว่าง 2 ผิวสามเหลี่ยมดังนี้ $\{C_2, C_1, C_0\}$ และ $\{C_3, C_1, C_2\}$ และพิจารณาความยาวของขอบที่เกิดจากข้อมูลจุด C_1 และ C_2 ซึ่งก่อนมีการปรับตัวมีความยาวเท่ากับ le_{old} และหลังจากมีการปรับตัวของ l_{03} จะถูกใช้ในการเชื่อมโยงโครงสร้างของผิวสามเหลี่ยมใหม่ แทนที่ l_{12} เพราะความยาว le_{new} น้อยกว่าความยาว le_{old} ดังนั้นการเชื่อมโยงโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมจะต้องมี

การปรับตัวตามที่แสดงในรูปที่ 4.19(a) และเมื่อการเชื่อมโยงโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมได้มีการปรับตัวแล้วแสดงในรูปที่ 4.19(b) ซึ่งจะทำให้คุณภาพของโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมดีขึ้น

การตรวจสอบอย่างเป็นระบบมากขึ้นสำหรับการปรับตัวของการเชื่อมโยงโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมสำหรับผิวสามเหลี่ยมคู่อื่นๆ นั้นจะพิจารณามุม φ เพิ่มขึ้นจากการพิจารณาความยาวตามที่กล่าวมาแล้วซึ่งความยาวของขอบร่วมที่เหมาะสมของ 2 ผิวจะต้องมีความยาวน้อยกว่าขอบที่เกิดจากข้อมูลจุดที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของขอบร่วมแต่ถ้ามากกว่าจะต้องมีการปรับเกิดขึ้น โดยมุม φ คือ มุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากของ 2 ผิวสามเหลี่ยมที่กำลังถูกพิจารณา ซึ่งเวกเตอร์ถูกสร้างจากขอบที่ไม่ใช่ขอบร่วมของทั้งสองผิวตามที่แสดงในรูปที่ 4.19 ถ้า $\varphi > \pi/2$ และความยาวของขอบร่วมมากกว่าขอบที่ไม่ใช่ขอบร่วม ดังนั้นจะต้องมีการปรับตัวเกิดขึ้น และการปรับตัวจะดำเนินการต่อเนื่องกันไปของแต่ละคู่ของผิวสามเหลี่ยมที่มีขอบร่วมกัน จนกระทั่งเงื่อนไขทั้งสองเป็นที่

4.3. โฟลว์ชาร์ตของอัลกอริทึมการจัดการข้อมูลจุดและสร้างแบบจำลอง STL





รูปที่ 4.20 โฟลว์ชาร์ตของอัลกอริทึมการจัดการข้อมูลจุดและสร้างแบบจำลอง STL

4.4. ข้อดีของเทคนิควิธีการใหม่ที่น่าสนใจในงานวิจัย

4.4.1. ใช้เทคนิคการเรียงและจัดกลุ่มข้อมูลจุดเพื่อลดความซับซ้อนและกำหนดช่วงของการสร้างแบบจำลองผิว STL เฉพาะบริเวณที่ต้องการ

4.4.2. ใช้ระบบนิเวศเน็ตเวิร์คแบบใหม่สำหรับอัลกอริทึมใหม่มาช่วยในการจัดการกับข้อมูลจุดของผิววัตถุ

4.4.3. โครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นนี้สร้างมาจากข้อมูลจุดของผิววัตถุโดยตรง

4.4.4. มีความยืดหยุ่นในการสร้างโครงสร้างตาข่ายสามเหลี่ยมจากข้อมูลจุดของผิววัตถุที่ได้จากเครื่องมือวัดต่างๆที่มีความหนาแน่นของข้อมูลจุดไม่คงที่และไม่เป็นระเบียบ

4.4.5. ใช้พารามิเตอร์น้อยและง่ายต่อการใช้งาน

4.4.6. ตัดปัญหาการเลือกใช้กลุ่มข้อมูลจุด (Sampling Points) มาคำนวณซึ่งถ้าเลือกไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงของข้อมูลจุดที่ผิดพลาด (Correct Connectivity) โดยในการคำนวณในหนึ่งวัฏจักรจะใช้เพียงข้อมูลจุดจุดเดียว

4.4.7. สามารถสร้างแบบจำลอง STL ได้