รายการอ้างอิง

1. Morgan McGuire, John F. Hughes, "Hardware-determined feature edge", *Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, 2004.

2. Bing-Yu Chen and Tomoyuki Nishita, "An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics", 2002.

3. Myeong-Cheol Ko and Yoon-Chul Choy, "3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission", *IEEE 2002*, 2002, pp. 284-288.

4. Philippe Decaudin, "Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes", *Research Report INRIA #2919*, 1996.

5. Jonathan D. Cohen, "Concepts and Algorithms for Polygonal Simplification", *SIGGRAPH 99*, 1999.

6. Johan Claes, Fabian Di Fiore, Gert Vansichem, Frank Van Reeth, "Fast 3D Cartoon Rendering with Improved Quality by Exploiting Graphics Hardware", *Proceedings of IVCNZ*, 2001, pp. 13-18.

7. Chin-Shyurng Fahn, Hung-Kuang Chen, Yi-Haur Shiau, "Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric", *IEEE Fourth International Symposium on Multimedia Software Engineering (MSE 2002)*, 2002.

8. H. Hoppe, "Progressive meshes", *ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics*, 1996, pp.99-108.

9. Ronfard, R., and Rossignac, J., "Full-range Approximation of Triangulated Polyhedra", *Eurographics96, Computer Graphics Forum*, 1996, pp. C-67.

10. Andreas Hubeli and Markus Gross, "Multiresolution Feature Extraction from Unstructured Meshes", *IEEE Visulization 2001 Conference Proceedings*, 2001, pp. 287-294.

11. P. Lindsstrom and G. Turk, "Image-driven Simplification", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 19, No. 3, 2000, pp. 204-241.

12. Markosian, Lee, "Real-Time Nonphotorealistic", *In proceeding of ACM SIGGRAPH*, 1997, pp. 113-122.

13. H. Zhou, M. Chen, M.F. Webster, "Comparative evaluation of visualization and experimental results using image comparison metrics", *In proceeding of IEEE Visualization 2002*, 2002, pp. 315-322.

14. T. Moller and E. Haines, "Real-Time Rendering", *ISBN 1-56881-101-2*, A K Peters, 1999.

15. J. Buchanan and M. Sousa, "The edge buffer: A data structure for easy silhouette rendering", NPAR 2000: Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, 2000, pp. 39–42.

16. P. Hinker and C. Hansen. "Geometric optimization", *In proceedings of IEEE Conference 1993*, 1993, pp. 189–195.

17. Michael Press, Jihad El-Sana, "Multiresolution Hierarchy for Real-Time Cartoon-Style Rendering.", *Geometric Modeling and Imaging-New Trends(GMAI'06)*, 2006, pp. 63-68.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ส่วนที่ถูกตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ

วิธีการให้แสงเงาเซล-เชดแบบทันที โดยใช้
การลดทอนรายละเอียดของเมช และการคืนรายละเอียดของเมชที่เลือก

Real-time Cel-Shade Rendering Method Using Mesh Simplification and Selective Mesh Reconstruction

จิระเทพ จิระประวัติระกูล และ พิษณุ คนองชัยยศ
กลุ่มวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟิกส์
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อีเมล jirathep@promptnow.com, pizzanu@cp.eng.chula.ac.th

รูปที่ 1. ภาพการ์ตูนจากการให้แสงเงาแบบเซล-เชดกับวัตถุรายละเอียดต่าง ๆ (ซ้าย) วัตถุต้นฉบับที่ไม่ทำการลดทอนรายละเอียด (กลาง) วัตถุที่ทำการลดทอนรายละเอียดโดยวิธีปกติ (ซ้าย) วัตถุที่ลดทอนรายละเอียดด้วยวิธีที่นำเสนอ

บทคัดย่อ

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยให้แสงเงาเซล-เชดเป็นวิธีการสร้างภาพที่สำคัญในการสร้างภาพแบบการ์ตูนซึ่งถือว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ โดยปกติแล้วศิลปินหรือนักวาดภาพมักต้องการผลตอบการให้แสงเงาแบบทันที ซึ่งปัจจัยที่จะสำคัญของการทำงานคือความรวดเร็วในการคำนวณค่าแสงบนวัตถุที่มักแสดงด้วยโครงสร้างเมช ซึ่ง อาจมีรายละเอียดสูงมากจนทำให้เกิดข้อจำกัดในการคำนวณ ทำให้ไม่สามารถประมวลภาพเซล-เชดได้แบบทันทีตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามมีผู้เสนอวิธีทำให้ข้อมูลของเมชนั้นมีรายละเอียดลดลงหลายวิธี แต่หากเรานำการลดทอนรายละเอียดของเมชนั้นแบบทั่ว ๆ ไปไปใช้ในการให้แสงเงาแบบเซล-เชด ผลที่ตามมาคือคุณภาพของภาพที่ได้จากการให้แสงเงานั้นจะลดลง เนื่องจากการให้แสงเงาเซล-เชดต้องแสดงรายละเอียดที่สำคัญเฉพาะส่วนได้เห็นผลจากการลดทอนรายละเอียดด้วยวิธีทั่วไปทำให้รายละเอียดของรูปลดลงเท่ากันทั้งรูป ดังนั้นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือนำเสนอวิธีการที่จะลดทอนรายละเอียดของเมชให้สามารถประมวลภาพเซล-เชด เป็นไปได้แบบทันที และสามารถคืนรายละเอียดในบริเวณที่มีรายละเอียดที่สำคัญ เพื่อให้การให้แสงเงามีความใกล้เคียงกับต้นแบบมากที่สุด เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการสร้างการ์ตูนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การลดทอนรายละเอียดของเมช, วิธีการให้แสงเงาเซล-เชด

Abstract

Cel-shade rendering is a major process in computer-aided cartoon production. Artists usually need to see their pre-rendered sketches in real-time. However, to render a large mesh objects in real time is not trivial. Several mesh simplification methods has been proposed and can be used for accelerate the

rendering computation process. In cel-shade rendering, however, several details of mesh is needed for particular parts of the object while previous overall mesh simplification methods can cause low quality of rendered pictures. This research presents a real-time cel-shade rendering method using mesh simplification and selective mesh reconstruction which can simplify mesh in several details corresponding to a particular part of the object, so real-time cel-shade rendering can be performed and give the smooth and more preferred pictures.

Key-Words: Mesh Simplification, Cel-Shade Rendering

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการใช้ภาพแบบ 3 มิติในวงการบันเทิงในด้านต่างๆมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นวงการภาพยนตร์ การ์ตูน วงการเกมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการใช้ภาพแบบ 3 มิติประมวลภาพเซล-เชด(Cel-Shade) [4] นั้นเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ภาพแบบ 3 มิติที่นิยมใช้ เพราะภาพเซล-เชดเป็นภาพที่ดูเหมือนภาพการ์ตูน 2 มิติซึ่งดูนุ่มนวลและเข้าถึงผู้ชมในกลุ่มเยาวชนได้มากกว่าภาพที่ดูสมจริง

แต่อย่างไรก็ดี การให้แสงเงาจากโครงร่างเมช (Mesh) นั้นในบางครั้งเมชมีโครงร่างที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดที่สูงมาก การให้แสงเงานั้นอาจต้องใช้เวลานานมากทั้งที่การให้แสงเงาเซล-เชดนั้น รายละเอียดของภาพนั้นมีเพียง เส้นขอบของภาพ, สี และ เงาของภาพ ซึ่งแตกต่างจาก สีและแสงเงาของการให้แสงเงา 3 มิติ แบบสมจริง เพราะโครงร่างเมชที่มีระดับของรายละเอียดของเมชแตกต่างกันอาจสามารถประมวลภาพเซล-เชด ที่ให้ภาพที่เหมือนกันได้ดังรูปที่ 2

ดังนั้นภาพโครงร่างเมชที่มีรายละเอียดสูงนั้นไม่ใช่สิ่งที่จำเป็นสำหรับการให้แสงเงาเซล-เชดเสมอไป เพราะภาพเซล-เชด เพียงต้องการแค่รายละเอียดเพียงบางส่วนเท่านั้นเพราะฉะนั้นจึงเป็นการสิ้นเปลืองที่จะต้องทำการให้แสงเงาจากเมชที่มีรายละเอียดสูง ซึ่งยังทำให้การให้แสงเงาไม่สามารถทำได้แบบทันที

รูปที่ 2. ประมวลภาพเซล-เชดจากเมชที่มีรายละเอียดต่างกัน ได้ภาพที่เหมือนกัน

งานวิจัยนี้ จึงนำเสนอวิธีการให้แสงเงาเซล-เชดจากเมชที่ลดลดทอนรายละเอียด [2, 3] และปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคืนรายเอียดของเมชเพียงบางส่วนเพื่อใช้ในการให้แสงเงาเซล-เชดแบบทันที

2. การให้แสงเงาเซล-เชด

การให้แสงเงาเซล-เชด [3, 6] หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการสร้างภาพแบบไม่เสมือนจริงหรือนอนโฟโตเรียลวิสติค (Non-photorealistic) โดยภาพที่ได้นั้นจะมีความคล้ายคับภาพการ์ตูน ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญของภาพประเภทนี้ คือ สีในแต่ละบริเวณซึ่งค่าสีจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าแสงแบบเป็นช่วงหรือคล้ำสีเป็นช่วง ๆ (cel-shading) และภาพเงาทึบ (silhouette) ที่เห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากภาพแบบเสมือนจริง ในการให้แสงเงาเซล-เชดนั้น แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การหาค่าสีในแต่ละบริเวณ และ การสร้างเส้นขอบรูป

รูปที่ 3. การให้แสงเงาแบบเสมือนจริง เปรียบเทียบกับ การให้แสงเงาเซล-เชด

3. การลดทอน และ การคืนรายละเอียดของเมช

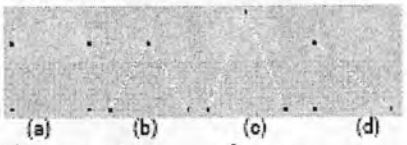
การลดทอนรายละเอียดของเมช [2, 3, 5, 7] คือวิธีที่ใช้ในการลดความซับซ้อนของเมชโดยการทำให้เมชมีรายละเอียดน้อยกว่าเดิมเพื่อ ลดเวลาที่ใช้การคำนวณในการให้แสงเงาแบบ 3 มิติ ทำให้การให้แสงเงาทำได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีที่ใช้ในการลดรายละเอียดของเมชนี้ มีวิธีการอยู่หลายวิธี เช่น การลบจุดของเมช(Vertex

Removal), การลบเส้นขอบของเมช (Edge Collapse) [1] , การลบพื้นผิวของเมช (Face Collapse), การรวมกลุ่มจุดของเมช (Vertex Cluster), การลบที่เส้นขอบแนวเดียวกัน (Generalized Edge Collapse) และ การยุบแยกย่อย (Unsubdivision) โดยทั่วไปวิธีที่นิยมใช้ คือ วิธีการลบเส้นขอบของเมช เพราะเป็นวิธีที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก และสะดวกในการคืนรายละเอียดของเมชให้กลับมาเป็นรูปต้นแบบได้ง่าย

3.1 การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการลบขอบ

การลบขอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยจะเป็นการนำจุดยอดที่อยู่บนขอบเดียวกันทั้งสองจุดมารวมเป็นจุดเดียวกัน กระบวนการนี้จะส่งผลกระทบต่อรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดที่อยู่รอบๆขอบนี้ โดยสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยจุดทั้งสองจุดนี้จะถูกลดรูปเหลือเส้นขอบเพียงเส้นเดียว [5] ดังรูป 4

สำหรับวิธีการนี้ จะต้องเลือกตำแหน่งของจุดที่เกิดขึ้นใหม่ โดยอาจจะพิจารณาจากตำแหน่งต่างๆได้แก่ 1. จุดกึ่งกลางระหว่างสองจุด 2. จุดที่เหมาะสมที่สุด 3. จุดปลายของเส้นขอบ ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ จะเลือกจุดปลายของเส้นขอบ เพราะใช้เวลาการคำนวณที่น้อยไม่ซับซ้อน



รูปที่ 4. การเลือกตำแหน่งจุดยอดใหม่หลังจากการทำการลบขอบบนระนาบลองมิติ
(a) รูปดั้งต้น (b) จุดกึ่งกลาง (c) จุดที่เหมาะสมที่สุด (d) จุดปลายของเส้นขอบ

3.2 การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจจับเส้นที่มีลักษณะเด่น

เนื่องจากในบางครั้งเมชจะมีเส้นขอบบางเส้นซึ่งไว้รักษารูปทรงหลักหรือกำหนดเป็นขอบเขตของสีในแต่ละส่วน ดังนั้น หากเราทำการลบขอบเหล่านี้ออกไป จะทำให้เมชนั้นอาจเสียลักษณะเด่นนั้นไป ซึ่งหมายถึงทำให้รูปทรงของเมชโดยรวมนั้น ผิดไปจากรูปต้นแบบอย่างมาก เส้นขอบที่มีลักษณะเด่นเราจะแบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่

- เส้นขอบคม (sharp edge) เส้นขอบใดๆจะเป็นเส้นขอบคมก็ต่อเมื่อมีคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งดังต่อไปนี้

ก.เส้นขอบนั้นเป็นเส้นแบ่งขอบเขต (boundary edge)

ข.รูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกับเส้นขอบนั้น สองรูปมีค่าคุณลักษณะติดรีดเดกต่างกัน เช่น มีสีแลกต่างกัน

-เส้นขอบฐาน(base edge) เส้นขอบฐานเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งของเมชซึ่งบางครั้งจะไม่ถูกจัดเป็นเส้นขอบคม โดยคุณสมบัติของเส้นขอบฐานนั่นคือ ถ้าเส้นนั้นๆถูกลบไปแล้วจะส่งผลกระทบโดยรวมที่รูปร่างของเมชโดยจะจัดเส้นใดเส้นหนึ่งเป็นเส้นขอบฐานนั้น เราจะกำหนดค่าๆหนึ่งไว้เป็นค่าน้ำหนักที่เป็นเส้นขอบฐาน เมื่อเราคำนวณค่าน้ำหนักของเส้นขอบนั้นๆแล้ว ก็นำมาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่ตั้งไว้ การที่เราจะตรวจหาเส้นขอบฐานนั้นมีหลายวิธีการ เช่น เอสโอดี(Second Order Difference SOD) ซึ่งวิธีนี้นั้น จะพิจารณาความเอียงของรูปสามเหลี่ยมสองรูปที่อยู่ติดกันบนเส้นขอบนั้นๆเป็นหลัก โดยคำนวณจากเส้นปรกติ (normal vector) ของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกัน แต่วิธีนี้จะไม่เหมาะสำหรับเมชที่มีรายละเอียดสูงหรือมีค่ารบกวน (noise) สูง

รูปที่ 5. การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีเอสโอดี

จากนั้นมีการพัฒนาวิธีเดิมจนมีวิธีใหม่ที่เรียกว่า อีเอสโอดี (Extended Second Order Difference - ESOD) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากเอสโอดี โดยแทนที่จะใช้เวกเตอร์ปรกติของสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกัน เราจะใช้ค่าเวกเตอร์ปรกติเฉลี่ยคำนวณจาก สามเหลี่ยมที่ต่อกันเป็นวงแหวนรอบจุด

3.3 การคืนรายละเอียดของเมช

เมชที่ถูกลดทอนรายละเอียด เช่นการลบเส้นขอบแต่ละครั้งนั้นเราจะทำการเก็บข้อมูลของการลดรายละเอียดเอาไว้ เพื่อใช้คืนรายละเอียดของเมช เพราะในบางครั้งเราอาจต้องการที่รายละเอียดของเมชที่มากกว่าที่ผ่านการลดรายละเอียดไปแล้วกลับมาซึ่งการจะคืนรายละเอียดของเมชนั้น จะทำโดยการคืนกลับไปยังจุดที่ถูกลดทอนลงไป.เพื่อทำการคืนรายละเอียดของเมชกลับมาโดย วิธีการ แยกจุดยอด (vertex split) ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6. การคืนรายละเอียดของเมช ด้วยการแยกจุด

เมชที่ได้จากการคืนรายละเอียดด้วยการแยกจุดกับทุกเส้นขอบที่ถูกลบไปแล้วนั้น จะมีรายละเอียดเหมือนเมชต้นแบบทุกประการ

4. วิธีการที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมช และ จะทำการคืนรายละเอียดของเมช ในส่วนของเส้นขอบรูป และ บริเวณที่เป็นส่วนที่เป็นเส้นเงาของรูป โดยจะทำการคำนวณหาจุดบนเมชที่เป็นเส้นเหล่านี้ด้วยการคำนวณจากการให้แสงเงาเชล-เชด ส่วนการลดทอนรายละเอียดของเมชนั้นจะใช้ วิธีลดขอบในการลดทอนรายละเอียดซึ่งจะทำการเลือกเส้นขอบที่จะลดโดยเส้นขอบนั้นต้องมีความสำคัญน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้รูปร่างของเมชในรูปเมชนั้นๆ เปลี่ยนไป เมื่อลดแล้ว ก็จะเลือกเส้นขอบที่มีความสำคัญน้อยที่สุดอันต่อไปในขณะนั้นมาทำการลดอีกจนกระทั่งไม่สามารถลดเส้นขอบได้อีก เนื่องจากเหลือแต่เส้นขอบที่สำคัญเท่านั้น

ซึ่งการจะกำหนดความสำคัญของเส้นขอบนั้น เราจะทำการกำหนดค่าน้ำหนักให้เส้นแต่ละเส้น ซึ่งค่าน้ำหนักที่กำหนด เราจะพิจารณาจากส่วนประกอบต่างๆ คือ คุณสมบัติของเส้นขอบคม และคุณสมบัติของเส้นขอบฐาน แล้วนำมาคำนวณจนได้ค่าน้ำหนักของเส้นทุกๆเส้นที่อยู่บนเมช จากนั้นจึงทำการลบเส้นขอบไปตามค่าน้ำหนักที่คำนวณได้(ลบเส้นขอบที่มีค่าน้ำหนักเย่ที่สุด)

4.1 พิจารณาหาเส้นขอบคม

จากนั้นเราจะพิจารณาเส้นขอบคม [1] ซึ่งเส้นใดๆจะเป็นเส้นขอบคมก็ต่อเมื่อมีคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งดังต่อไปนี้

ก. เส้นขอบนั้นเป็นเส้นแบ่งขอบเขต(Boundary edge) ก็ต่อเมื่อเส้นขอบนั้นเป็นเส้นขอบที่ประกบด้วยสามเหลี่ยมเพียงรูปเดียวเท่านั้น

ข. รูปสามเหลี่ยม 2 รูปที่ประกบติดกับเส้นขอบนั้นสองรูปมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะสามเหลี่ยมที่มีสีแตกต่างกัน โดยกำหนดให้แต่ละรูปสามเหลี่ยมมีค่าสีเป็นแดง,เขียวและน้ำเงิน (RGB) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 - 1 จากนั้นจะตรวจสอบความแตกต่างของสีระหว่างพื้นผิว a และ b ดังรูป 7 โดยถ้าค่าความแตกต่างของสีนั้นเกินค่าที่ตั้งไว้ค่าหนึ่ง (T) เราจะกำหนดให้เส้นขอบนี้เป็นเส้นขอบคม ดังสมการ (1)

$$|r(c_a)-r(c_b)|+|g(c_a)-g(c_b)|+|b(c_a)-b(c_b)|>T \quad (1)$$

จากนั้นเราจะกำหนดให้ค่าน้ำหนักของเส้นขอบคมที่พบให้มีค่าสูงสุด

รูปที่ 7. เส้นขอบคม

4.2 การกำหนดค่าน้ำหนักเส้นขอบที่เหลืออยู่

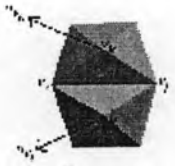
จากนั้นเราจะทำการหาค่าน้ำหนัก $w(e)$ โดยใช้วิธีฮิวริสติกที่เส้นที่เหลือซึ่งไม่ใช่เส้นขอบคมจากสมการ (2)

$$w(e) = n_{v_1} \cdot n_{v_2} \quad (2)$$

โดยที่ n_v คือ ค่าเวกเตอร์ประติดของจุดยอด v หาได้จากสมการ (3)

$$n_v = \sum_{v \in f} area(f) \cdot n_f \Big/ \sum_{v \in f} area(f) \quad (3)$$

เมื่อ $area(f)$ หมายถึงพื้นที่ของสามเหลี่ยม f



รูปที่ 8. การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีอีเอสโอดี

จากนั้น เราจะทำการคำนวณค่าน้ำหนักใหม่ $w'(e)$ โดยใช้ ค่าเวกเตอร์รอบข้าง $v(p)$ สังเกตการ (4)

$$w'(e) = v(p) \cdot w(e) \quad (4)$$

4.3 การคำนวณค่าสี เพื่อ การให้แสงเงาเชล-เชด

ในการให้แสงเงาเชล-เชดจะต้องทำการคำนวณ หาค่าสี ในแต่ละบริเวณทำได้โดยการคำนวณจากค่าเวกเตอร์ปรกติ N และ เวคเตอร์จากทิศทางแสง L คำนวณดังสมการ (5)

$$Color = Ambient + max(N.L, 0) \times Diffuse \quad (5)$$

ค่าสีที่คำนวณได้จากสมการ (5) นั้นจะถูกนำไปแปลงเป็นค่าสีในการให้แสงเงาเชล-เชด ซึ่งมีการแบ่งระดับสีเป็นสองส่วน คือ ส่วนบริเวณที่สว่าง และ ส่วนที่เป็นบริเวณเงามืดของเมช ดังรูป 9

รูปที่ 9. การแปลงค่าสี จาก การให้แสงเงาแบบสมจริง เป็น การให้แสงเงาเชล-เชด

เมื่อทำการค่าสีของเมชในการให้แสงเงาเชล-เชดแล้ว จะทำให้ทราบถึงอุดที่เป็นส่วนสว่าง,ส่วนเงามืดของเมช ซึ่ง จะทำให้สามารถทำการคืนรายละเอียดของเมชในจุดที่เป็นเส้นขอบเงาของเมชได้

4.4 การหาเส้นขอบรูปเพื่อการให้แสงเงาเชล-เชด

ในการให้แสงเงาเชล-เชด จะต้องทำการคำนวณหาเส้นขอบรูปเพื่อทำการสร้างเส้นขอบรูปของเมชที่ทำการให้แสงเงานั้นๆ การคำนวณเพื่อหาเส้นขอบที่เป็นขอบรูปนั้น เริ่มจาก นำเอาเส้นขอบทั้งหมดของเมช มาคำนวณคำหนดค่าเวกเตอร์ปรกติของพื้นผิวสามเหลี่ยม N1, N2 ที่ประชิดเส้นขอบนั้น และ ค่าเวคเตอร์ V จากเส้นขอบไปในทิศทางของจุดจ้องมอง (view point) ดังรูป10

รูปที่ 10. การหาเส้นขอบเพื่อการให้แสงเงาเชล-เชด

จากนั้นจะนำค่าทั้งหมดมาคำนวณความเป็นเส้นขอบรูป โดยใช้สมการ (6)

$$(N1 \cdot V) \times (N2 \cdot V) \leq 0 \quad (6)$$

ผลที่ได้จะการคำนวณ สมการ (6) จะทำให้ทราบถึงบริเวณที่เป็นขอบจะทำให้สามารถทำการคืนรายละเอียดของเมชในจุดที่เป็นเส้นขอบรูปของเมชได้

4.5 การคืนรายละเอียดของเมช

เมื่อนำเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดมาประมวลภาพจะทำการตรวจสอบจุดที่เป็นเส้นขอบและเงาของเมช จากการคำนวณ เพื่อการให้แสงเงาเชล-เชด ด้วยวิธีการในขั้นต้น เพื่อจะทำการคืนรายละเอียดในตำแหน่งเหล่านั้น โดยวิธีการแยกจุดของเมช โดยจะต้นกลับไปยังจุดที่ถูกลดทอนลงไปเพื่อทำการคืนรายละเอียดของเมชในตำแหน่งนั้นๆได้

5. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับเมชชนิดต่างๆกัน โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เพนเทียมโฟร์ความเร็ว 3 กิกกะเฮิร์ทซ์ ดีดีอาร์แรม 768 เมกกะไบท์ การ์ดจอแสดงผลสามมิติเอวัล เทค9600 เอ็กซ์ที มีหน่วยความจำ 128 เมกกะไบท์ โดยใช้วัตถุรูปคาน้ำที่ไม่ได้ทำการลดทอนรายละเอียด ประกอบด้วยจำนวนรูปสามเหลี่ยม 8064 และได้ความเร็วในการสร้างภาพที่ 53 เฟรมต่อวินาที ในขณะที่นำวัตถุเดียวกันไปลดทอนรายละเอียดโดยวิธีทั่วไป [2, 3, 5, 7] จนได้จำนวนสามเหลี่ยม 334 จะได้อัตราการสร้างภาพอยู่ที่ 1302 เฟรมต่อวินาที และวัตถุที่ลดทอนรายละเอียดเฉพาะที่

ด้วยวิธีที่นำเสนอจะมีจำนวนสามเหลี่ยม 1024 และความเร็วในการสร้างภาพ 425 เฟรมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5 ตามลำดับ

โดยเมื่อพิจารณาอัตราการให้แสงเงาเชล-เชด (ภาพต่อวินาที) ของเมชในรูปแบบ ที่ยังไม่ได้ลดทอนรายละเอียด, เมชในรูปแบบ ที่ถูกลดทอนรายละเอียด และในรูปแบบ ที่ถูกลดทอนรายละเอียดพร้อมคืนรายละเอียดเฉพาะที่ จะเห็นว่าอัตราการให้แสงเงาของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียด จะมีอัตราการให้แสงเงาที่สูงกว่า เมชที่ยังไม่ลดทอนรายละเอียด และ เมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดพร้อมคืนรายละเอียดในส่วนที่เลือก จะมีรูปร่างที่ถูกต้องใกล้เคียงกับ เมชต้นแบบมากกว่า เมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดแต่ไม่ได้คืนรายละเอียดในส่วนที่เลือก

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการให้แสงเงาเชล-เชด แบบทันที ด้วยวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมช และ คืนรายละเอียดของเมชเฉพาะที่ ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการให้แสงเงาเชล-เชด เพิ่มขึ้น โดยได้การให้แสงเงาที่มีอัตราเร็วกว่าแบบที่ไม่ได้ลดทอนรายละเอียด และ มีคุณภาพของภาพสูงกว่า การลดทอนรายละเอียดแต่ไม่ได้คืนรายละเอียดในส่วนที่เลือก ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับงานที่ต้องการเวลาในการประมวลผลแบบทันที หรือ งานที่ต้องการลดเวลาการประมวลผลเนื่องจากข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์เช่น การแสดงภาพบนอุปกรณ์ไร้สาย หรืออุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ดี งานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่ได้พิจารณาไปถึงรูปภาพบนพื้นผิวของเมช (texture) ,วัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือ การมีจุดกำเนิดแสงมากกว่า 1 จุด ซึ่งสามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพต่อไปได้ในอนาคต

7. รายการอ้างอิง

[1] Morgan McGuire, John F. Hughes, "Hardware-determined feature edge", Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, 2004.

[2] Bing-Yu Chen and Tomoyuki Nishita, "An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics", 2002.

[3] Myeong-Cheol Ko and Yoon-Chul Choy, "3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission", IEEE 2002, 2002, pp. 284-288.

[4] Philippe Decaudin. "Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes", *Research Report INRIA #2919*, 1996.

[5] Jonathan D. Cohen, "Concepts and Algorithms for Polygonal Simplification", *SIGGRAPH 99*, 1999.

[6] Johan Claes, Fabian Di Fiore, Gert Vansichem, Frank Van Reeth, "Fast 3D Cartoon Rendering with Improved Quality by Exploiting Graphics Hardware", Proceedings of IVCNZ, 2001, pp. 13--18.

[7] Chin-Shyurng Fahn, Hung-Kuang Chen, Yi-Haur Shian, "Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric", IEEE Fourth International Symposium on Multimedia Software Engineering (MSE 2002), 2002.

[8] H.Hoppe, "Progressive meshes", *ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics*, 1996, pp.99-108.

[9] Ronfard, R., and Rossignac, J., "Full-range Approximation of Triangulated Polyhedra", Eurographics96, Computer Graphics Forum,1996, pp. C-67.

[10] Andreas Hubeli and Markus Gross, "Multiresolution Feature Extraction from Unstructured Meshes", IEEE Visulization 2001 Conference Proceedings, 2001, pp. 287-294.

[11] P. Lindstrom and G. Turk, "Image-driven Simplification", ACM Transactions on Graphics, Vol. 19, No. 3, 2000, pp. 204-241.

[12] Markosian, Lee, "Real-Time Nonphotorealistic", In proceeding of ACM SIGGRAPH, 1997, pp. 113-122.

[13] H. Zhou, M. Chen, M.F. Webster, "Comparative evaluation of visualization and experimental results using image comparison metrics", In proceeding of IEEE Visualization 2002, 2002, pp. 315-322.

[14] T. Moller and E. Haines, "Real-Time Rendering", ISBN 1-56881-101-2, A K Peters, 1999

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิระเทพ จิระประวัติตระกูล เกิดเมื่อวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ เรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนทวีธาภิเศก จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546