

การแสดงผลภูมิประเทศโดยใช้การคำนวณค่าแสงแบบกระจายตามระดับพื้นที่

Terrain under Diffuse Light with Depth Perception

Using Intensity Level Map

จุฑารัฐ เหมะรัตน์

บัณฑิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

ภาวดี สมภักดี

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการรับรู้รูปทรงวัตถุของมนุษย์ภายใต้แสงแบบกระจาย พบว่ามนุษย์สามารถรับรู้ได้ว่าวัตถุมีความลึก หรือเป็นวัตถุแบบสามมิติ จากแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุนั้น และในวัตถุที่มีระดับความสูงของพื้นผิวแตกต่างกันนั้นมนุษย์ใช้โน้ตจำแนกความลึก ในความหมายว่าพื้นที่สูงจะสว่างกว่าพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่า งานวิจัยดังกล่าว ยังชี้ให้เห็นว่าการนำวิธีการให้แสงแบบกระจายที่ใช้สำหรับการแสดงผลภาพโดยทั่วไปมาใช้ในการแสดงผลภูมิประเทศจะไม่ให้ผลที่ดีต่อการรับรู้ในระดับความลึก เนื่องจากการคำนวณค่าแสงด้วยวิธีการดังกล่าวไม่ได้นำค่าระดับของพื้นที่มาพิจารณา

งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการสร้างตาราง Intensity Level Map ซึ่งเป็นข้อมูลระดับความสว่างตามความสูงของพื้นที่ โดยข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแสงแบบกระจายที่มีใช้โดยทั่วไป เพื่อปรับค่าแสงตามระดับความลึก เนื่องจากตาราง Intensity Level Map เป็นข้อมูลที่มาจากโครงสร้างของภูมิประเทศเท่านั้นจึงสามารถคำนวณล่วงหน้าและเก็บเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัตถุได้ ทำให้ใช้เวลาในการแสดงผลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ภาพที่ได้จะมีความสมจริงยิ่งขึ้น

Abstract

The research results of depth discrimination from shading under diffuse lighting have shown that human has a remarkable ability to interpret smooth pattern of lights on surface in terms of a 3-D object. The shape perception can be explained with a perceptual model that is the relation of shading and height as called "dark means deep". However, images generated from simple shading model of 3-D surface geometry under diffuse lighting condition do not correspond to human perception since the lighting model does not take the height of an object into account.

This research proposes Intensity Level Map (ILM). This map provides intensity variation values based on the geometric concept of depth of a terrain model. Our intensity-depth variation scheme relies on prominent in aerial perspective - dark means deep. In rendering, this map is combined with simple diffuse illumination model. Since ILM is computed by using only information on heights of a terrain, therefore, it can be pre-computed and kept as a property of an object. As a consequence, it requires only a little performance cutback while enriches real-time rendering applications.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำข้อมูลเกี่ยวกับภูมิประเทศในแง่ของลักษณะ และความสูงต่ำของพื้นที่มาใช้งานด้านต่างๆ เช่น การสำรวจ การทำแผนที่และการนำทาง เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาแสดงในระบบภาพสามมิติ โดยอาศัยเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก

การแสดงผลสามมิติทำให้ผู้ใช้รับรู้ถึงความตื้น ความลึกของภูมิประเทศ และรูปทรงของพื้นที่ได้มากกว่าการใช้แผนที่ซึ่งเป็นข้อมูลแบบสองมิติทั่วไป รวมไปถึงการปรับเปลี่ยนปัจจัยในการแสดงผลต่างๆ ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ตัวอย่างเช่น ในระบบแผนที่บอกตำแหน่ง Global Position Systems (GPS) จะมีโปรแกรมประยุกต์ที่อาศัยระบบภาพสามมิติ สร้างภาพให้ผู้ใช้เห็นถึงสภาพพื้นที่รอบตัวเพื่อใช้พิจารณาเส้นทางในการเดิน และระบบนี้ยังสามารถให้ผู้ใช้เลือกดูข้อมูลได้ตามต้องการ เช่น การเปลี่ยนมุมมอง การปรับขนาดของภาพ เป็นต้น

การสร้างภาพภูมิประเทศให้อยู่ในระบบสามมิตินั้น ในขั้นต้นจะต้องนำข้อมูลความสูงของพื้นที่มาสร้างเป็นวัตถุ หรือโมเดลโครงร่างเพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพภูมิประเทศนั้นเสียก่อน จากนั้นจึงนำโมเดลที่ได้มาปรับปรุงให้มีรายละเอียด และถูกต้องใกล้เคียงกับภูมิประเทศจริงมากที่สุด โดยวิธีการปรับปรุงนั้นได้แก่ การสร้างพื้นผิว การคำนวณค่าแสง และการให้รายละเอียดของพื้นผิว

ในงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการคำนวณแสง เนื่องจากแสงเป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแสดงรูปทรงของโมเดลให้มีความชัดเจนและเสมือนจริงยิ่งขึ้น กล่าวคือ ถ้าโมเดลมีสีเหมือนกันตามลักษณะของการสะท้อนแสง มนุษย์จะสามารถเข้าใจ และตีความเป็นรูปทรงโดยอาศัยโทนสีที่แตกต่างกันนั้นได้

การคำนวณหาค่าแสงสำหรับการสร้างภาพภูมิประเทศนั้น โดยทั่วไปมักใช้วิธีการคำนวณแสงแบบกระจาย (Diffuse) ซึ่งเป็นวิธีที่มักนำมาใช้กับการคำนวณค่าสีของวัตถุที่มีผิวด้าน จึงเหมาะสำหรับการเลียนแบบแสงจากธรรมชาติของภูมิประเทศโดยทั่วไป เนื่องจากการคำนวณแสงประเภทนี้ใช้หลักการที่ว่า เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุแล้วจะกระจายออกทุกทิศทาง โดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งของผู้มอง

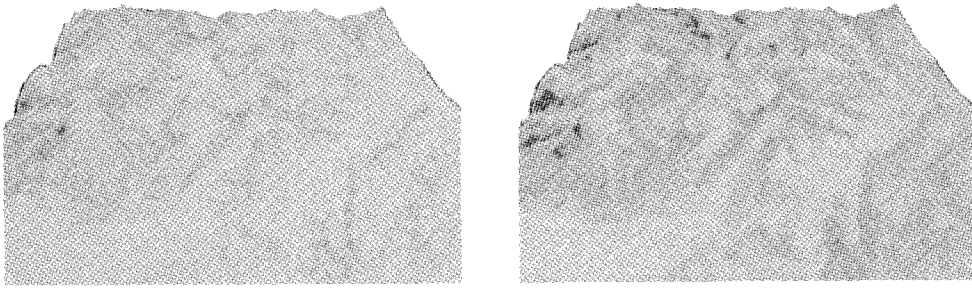
วิธีการคำนวณแสงแบบกระจายของ Lambert ที่เรียกตามทฤษฎีว่า Lambertian Illumination Model เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้ในการให้แสงกับโมเดลสามมิติ เนื่องจากทำงานได้เร็ว จึงมักนำไปใช้กับระบบที่สามารถสร้างภาพตอบสนองต่อคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว เช่นการปรับเปลี่ยนมุมมอง การปรับขนาด เป็นต้น ค่าแสงที่ได้จากวิธีนี้จะแปรผันตามมุมที่เกิดจากแสงตกกระทบบนพื้นผิว กล่าวคือ ถ้าแสงอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว พื้นที่ที่ตกกระทบบนพื้นผิวนั้นจะมีความสว่างมาก แต่ถ้าพื้นผิวเอียงมากเท่าใดจะมีความสว่างลดลงตามลำดับ ซึ่งกำหนดในรูปของสมการที่ใช้ในการคำนวณได้ดังนี้

$$I(x, y, z) = N(x, y, z) \cdot L \quad (1)$$

โดยที่ $N(x, y, z)$ คือเวกเตอร์ตั้งฉากของจุดในระบบพิกัดในตำแหน่ง (x, y, z) และ L คือเวกเตอร์ของแสงที่กระทำต่อพื้นผิวซึ่งค่าที่ได้จากโมเดลการคำนวณแสงนี้จะแปรผันตามมุมที่แสงทำกับพื้นผิว

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าของแสงแบบกระจายที่คำนวณได้จากวิธีของ Lambert นั้น ไม่ได้ให้ความสำคัญต่อระดับความสูงของพื้นที่ หากเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่สองตำแหน่งที่แสงตกกระทบบนพื้นผิวเหมือนกันแล้ว แสงที่ได้นั้นจะมีความสว่างเท่ากัน ไม่ว่าพื้นที่สองตำแหน่งนี้จะมีระดับความสูงที่แตกต่างเพียงใด เมื่อนำมาใช้กับภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นภูเขาที่มีความสูงต่างกันหลายระดับ จะทำให้เกิดความไม่ชัดเจนในรูปทรงของพื้นที่กับผู้สังเกต เช่น ไม่สามารถแยกได้ว่าส่วนใดเป็นเขาและส่วนใดเป็นที่ราบ หรือเกิดความสับสนว่าพื้นที่นั้นเป็นยอดเขาหรือก้นหุบเป็นต้น เนื่องจากค่าความสว่างที่ได้ไม่ตรงกับลักษณะการรับรู้รูปทรงของมนุษย์

ผลจากงานวิจัยของ Michael S Langer [13,14] พบว่ามนุษย์สามารถรับรู้รูปทรงของวัตถุได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของโทนสีและระดับความลึก (Dark Means Deep) ดังนั้นถึงแม้พื้นที่สองตำแหน่งที่แสงตกกระทบบนพื้นผิวเหมือนกัน แต่หากมีความสูงแตกต่างกันแล้ว ค่าความสว่างที่ได้นั้นจึงไม่ควรมีความเท่ากัน ดังนั้น หากใช้การคำนวณแสงแบบกระจายของ Lambert กับโมเดลภูมิประเทศนั้นอาจได้ภาพที่ขัดแย้งกับความรู้สึกของผู้สังเกต หรืออาจทำให้ผู้สังเกตมองภูมิประเทศผิดไปจากความจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโมเดลที่มีระดับความสูงแตกต่างกัน



รูปที่ 1 เปรียบเทียบภาพภูมิประเทศจากการสร้างด้วยการให้แสง (ซ้าย) ภาพที่คำนวณแสงด้วย Lambertian Illumination Model (ขวา) ภาพที่คำนวณแสงด้วย Lambertian Illumination Model ร่วมกับข้อมูล Intensity Level Map

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการปรับการคำนวณแสงโดยใช้ปัจจัยของลักษณะของภูมิประเทศ เพื่อให้ภาพเกิดความสอดคล้องกับการรับรู้ของมนุษย์ โดยการสร้างข้อมูลตาราง Intensity Level Map (ILM) ซึ่งสามารถนำมาช่วยในการคำนวณแสงแบบกระจายโดยทั่วไปแทนวิธีของ Lambertian illumination ทำให้แสงที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีใหม่ช่วยให้เห็นรูปทรงของภูมิประเทศได้ชัดเจนมากขึ้น

ในรูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการคำนวณแสงโดยใช้วิธี Lambertian Illumination Model เพียงอย่างเดียวกับการใช้วิธีการดังกล่าวร่วมกับข้อมูล ILM ที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่ามี ILM ช่วยให้เกิดความชัดเจนในรูปทรงของภูมิประเทศมากขึ้นกว่าการใช้วิธีของ Lambert เพียงอย่างเดียว การปรับระดับความเข้มของแสงตามความลึกของพื้นที่ ทำให้สามารถเข้าใจและตีความลักษณะพื้นที่ได้ดีมากขึ้น และสามารถเห็นรูปทรงของพื้นที่ได้ดีขึ้น

2. วัตถุประสงค์

จากปัญหาของการคำนวณแสงแบบกระจาย ในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างข้อมูลความสว่างตามระดับพื้นที่ ซึ่งคำนวณจากปัจจัยของลักษณะพื้นที่ โดยข้อมูลที่ได้จะสามารถนำมาช่วยในการคำนวณแสงสำหรับโมเดลภูมิประเทศสามมิติ ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแสงแบบกระจายที่มีใช้โดยทั่วไป เพื่อปรับค่าแสงให้เข้ากับระดับพื้นที่ เพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ

1. ได้ค่าความสว่างที่ทำให้ผู้ใช้สามารถรับรู้ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน และสามารถเข้าใจรูปทรงของภูมิประเทศได้ดีขึ้น
2. ใช้เวลาในการแสดงผลที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวิธีการคำนวณแสงแบบเดิม

เนื่องจากการคำนวณหาค่า Intensity Level Map เป็นการคำนวณจากข้อมูลที่มาจากโครงสร้างของภูมิประเทศเท่านั้นจึงสามารถคำนวณล่วงหน้าและเก็บเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัตถุได้ ทำให้ใช้เวลาในการแสดงผลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ภาพที่ได้จะให้ความรับรู้ที่ดีขึ้น

ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวคิดในการสร้าง ILM รวมถึงวิธีการสร้างและนำไปใช้ร่วมกับการคำนวณแสงของ Lambertian Model และวิเคราะห์ผลการทดลองในแง่มุมต่างๆ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างโมเดลภูมิประเทศในระบบสามมิติจำเป็นต้องอาศัยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายส่วน โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความเร็วในการวาดและความต้องการภาพที่เหมือนจริงมากขึ้น

การกำหนดวิธีการเก็บข้อมูลของภูมิประเทศ มีบทบาทต่อการออกแบบวิธีการ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าแสงเป็นอย่างดี ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1996-2000 ได้มีการนำเสนอวิธีการแทนข้อมูลด้วยโครงข่ายของรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) แบบต่างๆ เช่น Quadrilateral Mesh [1], Regular Triangulation [2]

และ Triangulated Irregular Network [3] รวมทั้ง การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการลดจำนวนรูปหลายเหลี่ยมเพื่อเพิ่มความเร็วในการเรนเดอร์ภาพหรือที่เรียกว่าการทำ Multi-resolution เช่นวิธีของ CLOD [2,4], ROAM [5], Diamond Algorithm [6] เป็นต้น

งานวิจัยที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่งคืองานวิจัยของ A. James Stewart [7,8,9] ที่เสนอวิธีการสร้างข้อมูลช่วยในการประมวลผล นั่นคือ การคำนวณค่าของเส้นขอบฟ้าหรือ Horizon ของรูปหลายเหลี่ยมแต่ละรูป เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการทดสอบว่ารูปหลายเหลี่ยมใดอยู่ใต้เส้นขอบฟ้าเพื่อลดจำนวนของรูปหลายเหลี่ยมลง ก่อนการทำ Visibility Test เพื่อลดจำนวนรูปหลายเหลี่ยมที่จะถูกนำมาแสดงผลอีกครั้งหนึ่ง มีผลให้ความเร็วในการแสดงผลภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม การคำนวณค่า Horizon นั้นจะพิจารณาจากความสูงของพื้นที่รอบตัว โดยคำนวณค่าไวล่องหน้าและเก็บไว้เพื่อการคำนวณครั้งต่อไป

นอกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโมเดลภูมิประเทศแล้วงานวิจัยด้านอื่นที่สำคัญและเกี่ยวข้องคือการศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้รูปทรงที่เป็นสามมิติของของมนุษย์ที่เน้นการใช้สีเป็นตัวบอกรูปทรง ในปี ค.ศ. 2000 Gabriele Peter [11] ได้ศึกษารวบรวมปัจจัยการเข้าใจรูปทรงสามมิติของมนุษย์ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการใช้โทนสี พบว่าโทนสีที่ไม่เท่ากันในภาพทำให้มนุษย์เข้าใจรูปทรงได้ ซึ่งเป็นการสนับสนุนงานวิจัยของ Vilayanur S. Ramachandran [12] ที่ตีพิมพ์ ในปี ค.ศ. 1988 ที่ได้ใช้การให้แสงจากตำแหน่งต่างๆเพื่อทดสอบการรับรู้รูปทรงของวัตถุ และพบว่าแสงที่มาจากจุดกำเนิดต่างกันมีผลให้เกิดการตีความรูปทรงของวัตถุต่างกัน

Michel S. Langer [13,14] ศึกษาการรับรู้รูปทรงของวัตถุภายใต้สภาพแสงที่เลียนแบบธรรมชาติ กล่าวถึงความสัมพันธ์ของการรับรู้รูปทรงวัตถุของมนุษย์ จากการใช้โทนสีและความลึกและพบว่า มนุษย์สามารถรับรู้รูปทรงที่มีความลึกได้จากโทนสีที่เข้มกว่าบริเวณอื่น และมนุษย์จะรับรู้รูปทรงได้ดี ถ้าแสงมาจากทิศทางด้านบน

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการรับรู้ของมนุษย์โทนสีเป็นสิ่งสำคัญในการรับรู้รูปทรง และมีความสัมพันธ์กับการรับรู้ความลึกโดยตรงซึ่งเป็นแนวคิดสำคัญให้แก่งานวิจัยนี้

4. Intensity Level Map

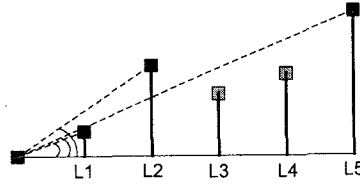
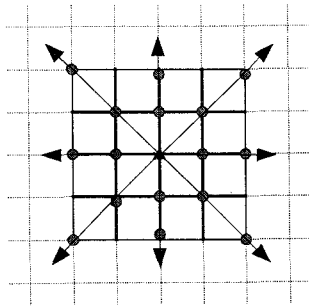
แนวคิดในการสร้างข้อมูล Intensity Level Map (ILM) มาจากผลการศึกษาการเข้าใจโทนสีที่มีความสัมพันธ์กับความลึกของรูปทรงของวัตถุ [14] ที่แสดงให้เห็นว่า การรับรู้พื้นผิววัตถุของมนุษย์นั้นให้ความสัมพันธ์ของโทนสีและความลึก ในความหมายว่าพื้นที่ลึกจะมีค่าต่ำกว่าพื้นที่สูง การคำนวณเพื่อปรับค่าโทนสีนั้น จะทำการทดสอบทุกจุดบนพื้นผิวของโมเดล โดยพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลความลึกรอบจุดทดสอบกับจุดที่อยู่รอบข้างที่ละจุด เพื่อให้ทราบว่าจุดทดสอบนั้นถูกปิดล้อมด้วยพื้นผิวรอบข้างหรือไม่ และใช้ค่านี้เป็นตัวกำหนดความสว่างของพื้นที่

เมื่อคำนวณข้อมูลค่าความสว่างใน ILM เสร็จแล้ว จึงนำไปใช้ปรับปรุงโมเดลภูมิประเทศนั้น โดยนำไปปรับค่าแสงที่คำนวณได้โดยวิธีการปกติ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การคำนวณค่าแสงแบบกระจายของ Lambert ค่า ILM จะช่วยลดทอนแสงที่ได้จากการคำนวณ จึงได้ภาพที่มีแสดงความชัดเจนในรูปทรงมากยิ่งขึ้น

กระบวนการแสดงภาพโดยใช้ข้อมูล ILM ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือการเตรียมข้อมูลความสูงของพื้นที่ การคำนวณค่าความเข้มแสงโดยพิจารณาจากความสูงของจุดที่อยู่รอบข้าง และการนำไปใช้ร่วมกับการคำนวณแสงโดยการใช้ Lambertian Illumination Model ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การเตรียมข้อมูลความสูงของพื้นที่

การเตรียมข้อมูลความสูงของพื้นที่ คือการแปลงข้อมูลความสูงที่เก็บในรูปแบบใดๆ มาจัดเก็บในรูปแบบตารางสองมิติ โดยจะทำการสุ่มเก็บด้วยระยะห่างระหว่างจุดเท่ากันทั้งในด้านกว้างและยาว เช่นการเก็บข้อมูลของพื้นที่ด้วยรูปภาพของความสูง (Heightmap) ดังแสดงในรูปที่ 3 ความกว้าง ยาว ของรูปคือความกว้าง ยาวของพื้นที่ และสีของภาพแทนความสูงในระดับต่างๆ จากนั้นทำการแปลงสีเป็นความสูงและนำมาเก็บไว้ในอะเรย์สองมิติ โดยใช้ตำแหน่งของอะเรย์เป็นจุดอ้างอิงจากข้อมูลจริงและค่าในอะเรย์คือความสูงของพื้นที่ในตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 2 (ซ้าย)แสดงทิศทางการแบ่งทิศทางรอบจุดทดสอบเป็น 8 ทิศ และ (ขวา)แสดงจุดที่จะถูกทดสอบบนทิศทางนั้น

4.2 วิธีการคำนวณค่าความเข้มแสง

ในการคำนวณค่าแสงตามโครงสร้าง ทำได้โดยการพิจารณาจากจุดรอบข้างรอบๆ จุดทดสอบ โดยมีหลักพิจารณาว่า ถ้ามีพื้นที่ที่สูงกว่าล้อมรอบก็เสมือนว่าจุดทดสอบนั้นอยู่ต่ำต้งนั้น จึงมีความสว่างน้อยกว่า แต่ถ้าไม่มีจะได้อสงกว่าเลยพื้นที่บริเวณนั้นก็อาจเป็นยอดเขาหรือพื้นที่ราบในตอนกลางของบริเวณนั้นๆ

การทดสอบพื้นที่รอบจุดทดสอบทำได้ 2 ขั้นตอนคือ การทดสอบแต่ละทิศรอบจุดทดสอบ และการรวมผลทดสอบรอบจุดทดสอบ

1. การทดสอบแต่ละทิศรอบจุดทดสอบ

เริ่มจากการกำหนดจำนวนทิศในการทดสอบ D ดังแสดงในรูปที่ 2 ด้านซ้าย และทำการกำหนดจำนวนระดับชั้นในการทดสอบ L ภายในทิศทางหนึ่ง ดังแสดงรูปที่ 2 ด้านขวา ระดับชั้นในการทดสอบจะเริ่มนับออกจากจุดทดสอบไปในทิศทางการทดสอบ เป็นจำนวนไม่เกินค่า L ที่กำหนด ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ระยะใกล้ไกลของพื้นที่รอบข้างที่มีอิทธิพลกับจุดทดสอบ

ทำการหาค่าความสว่างของแต่ละทิศทางตามสมการ (2)

$$I_d = \sum_{i=1}^L (v(i) \times (w_i \cdot \sin \theta_i)) \quad (2)$$

จากการทดสอบโดยเทียบความสูงระหว่างจุดทดสอบและจุดอ้างอิงจะใช้ฟังก์ชัน Sine ของมุมระหว่างจุดทดสอบกับจุดอ้างอิงในระดับต่างๆ และได้มีการกำหนดน้ำหนัก w ให้กับแต่ละระดับชั้นสำหรับการให้ความสำคัญของแต่ละระดับไม่เท่ากันเช่น อาจให้ความสำคัญกับระดับที่อยู่ใกล้กว่ามากกว่าซึ่งน่าจะมีอิทธิพลกับจุดทดสอบมากกว่า โดยมีเงื่อนไขว่าค่าน้ำหนักทั้งหมดรวมกันของทิศทางนั้นจะเท่ากับ 1

ในการทดสอบแต่ละระดับยังมีเงื่อนไขการตัดสินใจจะนำระดับนั้นมาคำนวณด้วยหรือไม่ โดยฟังก์ชัน $v(i)$ เป็นการทดสอบความสูงที่ระดับ i ว่าเหมาะสมที่จะนำมาคำนวณหรือไม่ เงื่อนไขที่ทดสอบคือ

a) ถ้าความสูงของจุดทดสอบมากกว่าความสูงของจุดที่ระดับ i

b) ถ้าความสูงของจุดในระดับ i น้อยกว่าความสูงของระดับก่อนหน้าที่ได้ทดสอบแล้วระดับใดระดับหนึ่ง

ถ้าตรงตามเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งฟังก์ชัน $v(i)$ จะให้ค่าเป็น 0 และจะทำให้การคำนวณในระดับนี้ไม่มีผลใดๆกับผลโดยรวม นอกจากนั้นฟังก์ชัน $v(i)$ จะมีค่าเป็น 1 เช่นในภาพที่ 2 จุดที่ระดับ $L3$ และ $L4$ จะถูกทดสอบและให้ค่า $v(i)$ เป็น 0 เพราะมีความสูงต่ำกว่าในระดับ $L2$

ผลที่ได้จากการรวมค่าแสงในแต่ละระดับ I_d จะเป็นค่าแสงประจำทิศทางต่างๆ ซึ่งต้องนำไปเฉลี่ยในทุกทิศทางที่กำหนดต่อไป

2. การรวมผลทดสอบรอบจุดทดสอบ เป็นการนำค่าแสงที่ได้จากการคำนวณแต่ละทิศทางมาเฉลี่ยกันเพื่อหาแนวโน้มของลักษณะพื้นที่รอบจุดทดสอบโดยใช้สมการที่ (3) หรือนำสมการ (2) มาเขียนใหม่ได้เป็นสมการ (4)

$$I_p = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D I_{d_i} \quad (3)$$

$$I_p = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^L (v(ij) \times (w_{ij} \cdot \sin \theta_{ij})) \quad (4)$$

แต่ผลจากการคำนวณค่าแสงประจำจุด I_p จะมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq I_p \leq 1$ โดย 0 คือด้านสว่างและ 1 คือด้านมืด



รูปที่ 3 (ซ้าย) ข้อมูลความสูง Heightmap ของพื้นที่ (ขวา) ข้อมูล Intensity Level Map ของพื้นที่เดียวกัน

จึงทำการกลับค่าให้มีความสว่างในแบบมาตรฐานคือ 0 มีดและ 1 สว่าง โดยนำ 1 มาลบ ตามสมการ (5)

$$I_{ILM} = 1 - I_p \quad (5)$$

จากการหาค่าแสงที่ผ่านมาเป็นการหาค่าแสงที่จุดๆเดียว จึงต้องทำการหาค่าแสงให้กับทุกๆจุดบนพื้นผิว โดยการเลื่อนตำแหน่งจุดทดสอบไปในทางกว้างและยาว ทั้งหมดของพื้นที่

4.3 วิธีการนำไปใช้ร่วมกับการคำนวณแสงแบบ

Lambertian Illumination Model

ทำได้โดยการนำข้อมูลความสว่างที่คำนวณได้จากวิธีของ Lambert มาคูณโดยตรงกับค่าความสว่างจาก ILM ณ ตำแหน่งบนระนาบเดียวกันตามสมการ (6) ทำให้ทำให้ค่าแสงของ Lambertian ลดลง โดยเฉพาะในส่วนของร่องเขาและหุบเขา ค่าแสงที่ได้จากการทำงานแบบใหม่จะมีค่าน้อยกว่าค่าแสงที่ได้จาก Lambertian เพียงลำพัง

$$I_{ij} = I_{Lambertian}(i, j) \times I_{ILM}(i, j) \quad (6)$$

จากสมการจะได้ค่าความสว่างใหม่แก่จุด โดยมี (i, j) เป็นตำแหน่งใดๆบนระนาบ ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด n จุด เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า ค่าแสงของ Lambertian จะถูกลดความเข้มลงด้วยค่าแสงที่ได้จาก ILM เพราะ $0 \leq I_{ILM} \leq 1$ ค่าความสว่างที่คำนวณได้นั้น จะถูกนำมาใช้เป็นค่าคงที่สำหรับปรับระดับความเข้มของสี

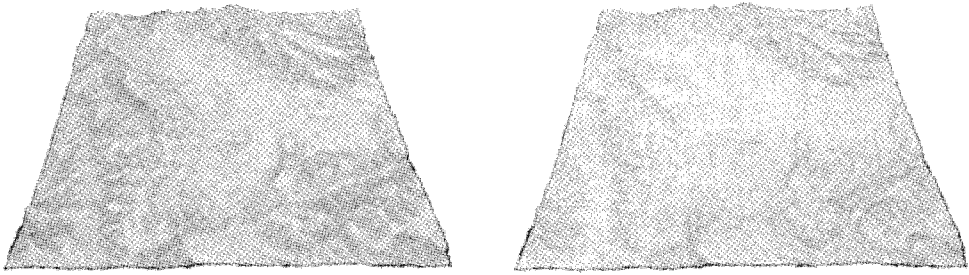
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างข้อมูล Intensity Level Map จากข้อมูลพื้นที่ภูมิประเทศในลักษณะภูเขาและหุบเขา ในรูปที่ 3 ด้านซ้าย ซึ่งข้อมูลมีขนาด 200×200 พิกเซล และได้หนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ จำนวนทิศทางในการทดสอบ (D) 8 ทิศทาง ระดับของการทดสอบ (L) 5 ระดับ น้ำหนักของแต่ละจุดภายในทิศทางกำหนดให้เท่ากันคือ $1/L$ หรือ $1/5$ ผลของการสร้างข้อมูล ILM เป็นดังรูปที่ 3 ด้านขวา จะเห็นได้ว่า ในส่วนที่เป็นร่องเขาจะมีความเข้มของสีที่มากกว่า เพราะค่าแสงที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อย ในส่วนที่เป็นยอดเขาจะมีความเข้มของสีน้อยเนื่องจากมีค่าแสงมากกว่า

ในการทดลองการนำข้อมูล ILM ดังกล่าว ไปใช้คำนวณร่วมกับการคำนวณแสงด้วย Lambertian Model ตามสมการ (6) เพื่อสร้างภาพสามมิติของพื้นที่จากข้อมูลความสูง Heightmap ในรูปที่ 3 ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 40,000 จุดและนำมาสร้างเป็นโมเดลภูมิประเทศโดยแทนด้วยโพลีกอนสามบนโครงสร้างแบบ Quadrilateral Mesh [1] ได้ 80,000 โพลีกอนแทนพื้นผิวโดยอาศัยฟังก์ชันในการวาดรูปสามเหลี่ยมของโปรแกรม OpenGL ซึ่งสุดท้ายจะได้โครงสร้างของโพลีกอนสามเหลี่ยมเรียงตัวกันแทนพื้นผิว

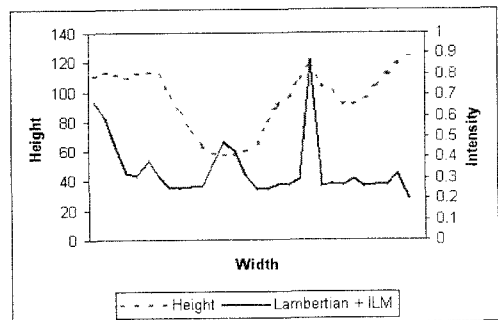
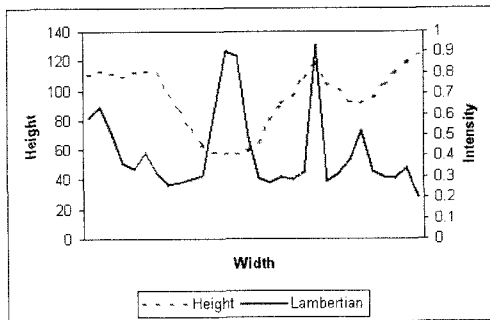
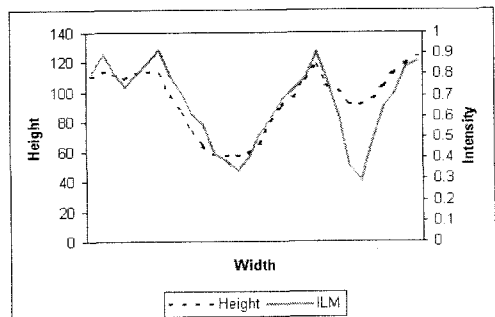
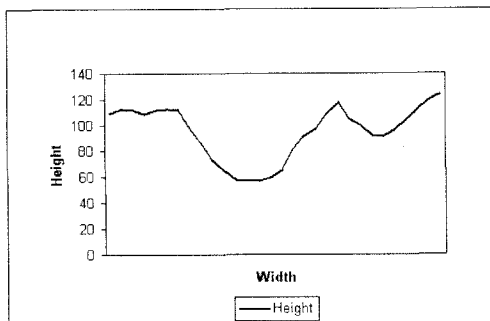
จากนั้นทำการคำนวณค่าแสงด้วยการใช้ข้อมูล ILM ร่วมในการคำนวณกับ Lambertian Model ให้กับจุดแต่ละจุดบนพื้นผิว จากนั้นส่งข้อมูลสู่กระบวนการวาดภาพเพื่อออกมาเป็นภาพสามมิติ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบภาพสามมิติที่ได้จากการคำนวณแสงด้วยวิธี Lambertian Model (ซ้าย) ที่ใช้ข้อมูล ILM และ (ขวา) ไม่ใช้ข้อมูล ILM

ผลจากการคำนวณแสงด้วย Lambertian รวมกับ ILM นำมาสร้างเป็นภาพและนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วย Lambertian Illumination Model เพียงอย่างเดียว ในรูปที่ 4 พบว่าผลเป็นไปตามที่ต้องการคือ ค่า ILM ทำให้พื้นที่ในบริเวณ

ร่องเขาและหุบเขามีการลดแสงลงอย่างเห็นได้ชัด และส่วนที่โดน บิดล้อมและยุบตัวอื่นๆที่เกิดขึ้นในระดับต่างๆ สามารถเห็นได้ชัด ขึ้นด้วย ทำให้สามารถเข้าใจพื้นที่ได้ชัดเจนว่าที่ใดมีการยุบตัว และ เข้าใจรูปทรงได้โดยง่าย



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงกับค่าแสงที่คำนวณได้ด้วยวิธีต่างๆ
(บน-ซ้าย) ค่าความสูง (บน-ขวา) ความสูง-Intensity Level Map
(ล่าง-ซ้าย) ความสูง-Lambertian Model (ล่าง-ขวา) ความสูง-Lambertian + ILM

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์ของลักษณะพื้นที่และค่า ILM ที่คำนวณออกมาได้ และเมื่อนำไปใช้ร่วมกับการคำนวณของ Lambertian Model โดยสุ่มข้อมูลของพื้นที่ขึ้นมาหนึ่งแถวและทำการคำนวณหาค่า ILM ค่าแสงจาก Lambertian Model และค่าแสงจากการคำนวณร่วมกัน ค่าความสว่างที่ได้จากการคำนวณ ILM จะเห็นว่าค่าความสว่างมีความสัมพันธ์กับระดับพื้นที่โดยตรง คือจะลดลงเมื่อลักษณะพื้นที่เป็นร่องเขาหรือมีการยุบตัวซึ่งเป็นไปตามความต้องการ

ค่าความสว่างที่ได้จากการคำนวณด้วย Lambertian model บริเวณค่าแสงมากจะเป็นบริเวณที่พื้นผิวดังฉากกับแสงที่มาจากด้านบน ทั้งในหุบเขาที่จะสว่างด้วยเช่นกันตามรูปที่ 5 ล่างซ้าย และเมื่อนำค่าความสว่างทั้งสองมารวมกันจะเกิดการลดทอนของแสง Lambertian ขึ้นซึ่งทำให้บริเวณที่เป็นหุบเขาหรือหลุมมีความสว่างลดลงไปจากเดิม ซึ่งตรงกับความต้องการ

5.3 ประสิทธิภาพในการทำงาน

จากวิธีการสร้าง Intensity Level Map สามารถประเมินเวลาที่ใช้ในการสร้างข้อมูลออกเป็น 2 วิธีคือ

Time Complexity ซึ่งจากสมการ (4) คือการหาค่าความสว่างเฉพาะจุด และต้องทำการหาทั้งหมด n จุด เป็น $O(nDL)$ โดยค่า D และ L คือจำนวนทิศและจำนวนระดับการทดสอบ แต่หาก D, L เป็นค่าคงที่แล้ว เวลาที่ใช้ในการสร้าง

ตาราง ILM มีค่าเท่ากับ $O(n)$

CPU-Time ในการทดลองได้ทำการวัดเวลาการทำงานจากการสร้างข้อมูลจริง ซึ่งในการทดสอบได้ทดลองสร้างข้อมูลในขนาดพื้นที่ต่างๆ กัน และทำการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ เพื่อหาเวลาที่ใช้งานจริง ในการทดลองได้ทำการทดลองด้วยการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP (Windows XP) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลรุ่นเพนเทียม 4 ความเร็ว 2.4 GHz ผลการทดลองที่ได้เป็นดังข้อมูลในตารางที่ 1

จะเห็นว่าถ้าระดับขึ้นต่างกันแล้ว เวลาที่ใช้ในการทำงานเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ หากพิจารณาในด้านที่ระดับขึ้นเท่ากันแต่จำนวนทิศทางต่างกันเวลาที่ใช้ในการทำงานก็มีอัตราเพิ่มที่คงที่เช่นเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนไป เวลาที่ใช้ก็ยังคงมีอัตราเพิ่มที่คงที่ สอดคล้องกับ Time Complexity คือ $O(n)$

การคำนวณสร้างข้อมูล ILM นั้นพิจารณาจากโครงสร้างของโมเดลภูมิประเทศเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถคำนวณเตรียมไว้ก่อนการนำไปใช้ในขั้นตอนการคำนวณแสง และเมื่อนำไปใช้จึงมีผลกับเวลาการสร้างภาพด้วยวิธีเดิมเพียงเล็กน้อย

เมื่อนำข้อมูล ILM ที่เตรียมไว้ไปใช้ร่วมกับ Lambertian Illumination Model ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองที่ได้เป็นดังข้อมูลในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เวลาในการสร้างข้อมูล ILM ภายใต้เงื่อนไขแบบต่างๆ

จำนวนข้อมูล (n จุด)	ทิศทางการทดสอบ	เวลาที่ใช้ (Millisecond)	
		ระดับขึ้น L = 5	ระดับขึ้น L = 10
10,000	4	47	63
40,000	4	146	256
90,000	4	302	537
160,000	4	559	985
10,000	8	84	127
40,000	8	262	466
90,000	8	600	1112
160,000	8	1115	2000

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการทำงานระหว่างวิธีเก่าและวิธีใหม่

จำนวนข้อมูล (n จุด)	เวลาในการทำงาน (Millisecond)	
	Lambertian	Lambertian with ILM
10,000	62	63
40,000	246	250
90,000	551	560
160,000	994	1000

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า วิธีการคำนวณแสงแบบใหม่นี้ใช้เวลาในแสดงภาพใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณแสงแบบเดิม เพราะการคำนวณข้อมูล ILM เป็นการนำมาใช้เท่านั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณใหม่ ซึ่งเป็นข้อดีของวิธีการแบบใหม่นี้

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการสร้างข้อมูล Intensity Level Map สำหรับใช้ร่วมกับการคำนวณแสงแบบกระจายโดยทั่วไป เพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับการคำนวณแสงให้กับโมเดลภูมิประเทศ ซึ่งเป็นวิธีที่สนใจโครงสร้างของพื้นที่ภูมิประเทศเพื่อใช้ในการพิจารณาถึงลักษณะรูปทรง และความตื้น ลึก ของโครงสร้าง ทำให้สามารถรู้ได้ว่าที่ตำแหน่งนั้นมีลักษณะอย่างไร จึงกำหนดค่าแสงที่เหมาะสมในกับตำแหน่งดังกล่าว

จากผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้ Intensity Level Map จะเห็นว่าภาพภูมิประเทศที่ได้นั้น ผู้สังเกตสามารถเข้าใจถึงลักษณะรูปทรง ได้ดีกว่าภาพจากการคำนวณแสงแบบเก่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงบรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือการปรับปรุงวิธีการคำนวณแสงเพื่อให้ผู้สังเกตสามารถรับรู้รูปทรงของพื้นที่ภูมิประเทศที่ดียิ่งขึ้น

ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นจะเห็นว่าเวลาในการคำนวณแสงให้กับโมเดลระหว่างวิธีเก่ากับวิธีใหม่นั้นใช้เวลาเท่ากัน เนื่องจาก Intensity Level Map เป็นการคำนวณค่าไว้ล่วงหน้า และเก็บเป็นข้อมูลที่พร้อมนำไปใช้ได้ทันที ทำให้การนำมารวมกับวิธีของ Lambert จึงไม่ส่งผลต่อเวลาในการเรนเดอร์

7. การพัฒนาในอนาคต

งานวิจัยนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ โดยการเพิ่มทิศทางการทดสอบให้มากขึ้น เช่น แบ่งการทดสอบในทิศทางเป็นช่วงองศาทดสอบ เพื่อที่จะให้ครอบคลุมจุดในการทดสอบได้มากกว่าเดิม แต่ต้องระวังในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทำงานที่มากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยลดปริมาณจุดทดสอบ อาจไม่ต้องทดสอบทุกจุดในพื้นที่ อาจหาวิธีในการเลือกจุดทดสอบที่จำเป็นเท่านั้น เช่นจุดในหลุม เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] De Boer, Willem H., Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping, E-mersion Project ,2000.
- [2] Lindstrom, Peter., Real-time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields, Proceedings of SIGGRAPH'96, pp. 109-118, 1996.
- [3] Garland, Michael., Fast Triangular Approximation of Terrains and Height Fields. SIGGRAPH'97, 1997.
- [4] Röttger, Strfan., Real-Time Generation of Continuous Level of Detail for Height Fields, Proceeding 6th Int. Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, pp.. 315-322, 1998.

- [5] Duchaineau, Mark., ROAMing Terrain: Real-Time Optimally Adapting Meshes. Proceedings of IEEE Visualization'97, pp. 81-88, 1997.
- [6] Halk, Henri. Diamond Terrain Algorithm Continuous Levels of Detail for Height Fields, Honors Year Project, University of Stellenbosch, 2001.
- [7] Stewart, A. James., Fast Horizon Computation at All Point of Terrain with Visibility and Shading Applications, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 82-93, 1998.
- [8] Stewart, A. James., Hierarchical Visibility in Terrains, Eurographics Rendering Workshop, 1997.
- [9] Stewart, A. James., Fast Horizon Computation for Accurate Terrain Rendering, Technical Report TR-349 Department of Computer Science, University of Toronto, 11 pp., 1996.
- [10] Stewart, A. James., Towards Accurate Recovery of Shape from Shading under Diffuse Lighting, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1020-1025, 1997.
- [11] Peters, Gabriele., Theories of Three-Dimensional Object Perception A Survey, Recent Research Developments in Pattern Recognition. Transworld Research Network, 2000.
- [12] Ramachandran, Vilayanur S., Perceiving Shape from Shading, Scientific American, pp. 76-83, 1988.
- [13] Langer, Michael S., Perception of Shape from Shading on a Cloudy Day, Max Planck Institute for Biological Cybernetics, Tübingen, Germany, 1999.
- [14] Langer, Michael S., Depth Discrimination from Shading under Diffuse Lighting, Perception, Perception , pp. 649-660, 2000.