

การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยงานซ่อมปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาอาคารเก่า ด้วยวิธีมอนติคาร์โล

Computer Aided Roof Tile Restoration Software Development Using Monte Carlo Method

ปิญโญ จินันตญา

Pinyo Jinuntuya

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานซ่อมปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาอาคารเก่า ในปัจจุบันยังจำกัดอยู่เพียงการสร้างรูปทรง 3 มิติ จัดวางตำแหน่ง จัดสภาพแวดล้อม สี แสง เงา ให้ใกล้เคียงกับสภาพจริง ส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เน้นขั้นตอนการแสดงผลเป็นหลัก ส่วนขั้นตอนการออกแบบ การเลือกใช้สี การจัดวางตำแหน่งกละสลักสี และรูปแบบการปูยังต้องให้ผู้ออกแบบกำหนดเอง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของการศึกษานี้ได้พัฒนาความสามารถที่ไม่มีในโปรแกรมช่วยออกแบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ในการจัดเรียงกละสลักแผ่นกระเบื้องหลังคา โดยกำหนดให้คอมพิวเตอร์รับค่าอัตราส่วนของกระเบื้องหลังคาที่ยังคงสภาพดี และบางส่วนที่เก่าลงจนสีเปลี่ยนไปจากผู้ออกแบบ แล้วทำการจัดวางสลับกละสลักตำแหน่งของสีกระเบื้องหลังคาให้กระจายดูเป็นผืนหลังคาที่เก่าตามธรรมชาติให้โดยอัตโนมัติ ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยเฉพาะกับงานออกแบบหลังคาที่สามารถช่วยงานอนุรักษ์หลังคาอาคารเก่าได้ตั้งแต่ขั้นตอนการจำลองรูปทรงหลังคา จัดวางตำแหน่งกระเบื้องปูหลังคา และแสดงผลในรูปแบบภาพ 3 มิติควบคู่ไปกับการแสดงจำนวนวัสดุที่ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ และเพื่อเพิ่มความสมจริงให้ผืนหลังคาดูเก่าเป็นธรรมชาติมากขึ้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้พัฒนาด้วยเทคนิคการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุด้วยภาษา C++ กราฟฟิก 3 มิติ OpenGL และ ระบบติดต่อผู้ใช้ Qt ที่ออกแบบไว้ให้สามารถเพิ่มความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในด้านอื่นเสริมได้ในอนาคตสำหรับช่วยการคำนวณจำนวนการใช้อุปกรณ์ติดตั้งหลังคาทั้งระบบ หรือให้สามารถรับรูปแบบการกละสลักกระเบื้องหลังคาได้หลากหลายมากขึ้นโดยสามารถเลือกผสมการใช้สีได้มากกว่าสองสีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Abstracts

Computer aided design software on roof tile restoration of historical architecture in this decade are applied only in feature of presentation like 3D modelling, and rendering. But for architectural conservation design process, architects spend much time for pattern design, and color combination from old and new tiles.

This roof tile restoration software development tried to apply Monte Carlo Method into core program to make new feature different from traditional CAD software for architects in natural mixed colors pattern design. The user interface of this software use common human-computer interaction by mouse click to make architects just only input ratio of mixed colors, then software will automatically places different old and new colors of roof tile to roof panel just in 1 click, and can display installed roof tile panel in both 2D and 3D view. This object oriented programming based software using C++ Language, OpenGL Graphic Library, and Qt User Interface Library is very flexible to make advanced combination that composed by more than 2 colors in any proportions, and convenience to add more features on calculations.

คำสำคัญ (Keywords)

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD)

คอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ (Computer Simulation)

วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method)

การพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development)

1 บทนำ

1.1 ที่มาและปัญหา

หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยงานอนุรักษ์อาคารเก่า [1] คือเทคนิคการจำลองสภาพเสมือนจริงด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) [2] โดยการสร้างรูปทรง 3 มิติจากวัตถุจริง จัดวางตำแหน่ง จัดสภาพแวดล้อม สี แสง เงา ให้ตรงกับสภาพจริง แล้วทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการออกแบบ หรือทดลองเลือกใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายในคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะทำการก่อสร้างจริงที่มีข้อจำกัดด้านต่าง ๆ มากกว่า ทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถคาดการณ์ แสดงผลงานที่จะเกิดขึ้นได้ก่อนการก่อสร้างจริง แต่รูปแบบการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างคือ ส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เน้นการจำลองวัตถุ (Modelling) และแสดงภาพสมจริง (Visualization) เป็นหลัก ส่วนขั้นตอนการออกแบบและการจัดวางตำแหน่งยังต้องให้ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดเอง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จึงทำหน้าที่แค่เพียงช่วยแสดงผลงานออกแบบมากกว่าช่วยงานในขั้นตอนการออกแบบและตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ

บทความนี้จะเสนอวิธีเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพเสมือนจริงด้วยคอมพิวเตอร์ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น โดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [3] ให้มีความสามารถในการช่วยการจัดวางตำแหน่ง และจำนวนของวัสดุก่อสร้างโดยอัตโนมัติ [4] เพื่อให้ผู้ออกแบบมีความชัดเจนและสะดวกมากขึ้นในการออกแบบรายละเอียด และทดลองปรับเปลี่ยน การเลือกใช้วัสดุที่มีความหลากหลาย สามารถลดขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อน ให้เหลือเพียงการคลิกเมาส์เพียงไม่กี่ครั้ง โดยเฉพาะในงานอนุรักษ์หลังคาอาคารเก่าที่กระเบื้องปูหลังคาเดิมอยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ ต้องใช้วัสดุที่มีอยู่ในปัจจุบันเสริมเพิ่มเติมเข้าไปรวมกับวัสดุที่มีอยู่เดิม ทำให้เกิดความไม่เข้ากันของวัสดุใหม่และวัสดุเก่าที่มีผลอย่างมากในการรับรู้ด้านการมองเห็นจากภายนอก ทำให้ผู้ออกแบบต้องจัดหากระเบื้องหลังคาที่ใกล้เคียง ทั้งในแง่ของสีและขนาดรูปทรง แต่อย่างไรก็ตาม คงเป็นไปได้ยากในการหาวัสดุแบบเดิมในยุคปัจจุบัน จึงต้องทดแทนข้อจำกัดด้านวัสดุด้วยการออกแบบผสมผสานการใช้วัสดุให้เหมาะสม นักออกแบบงานอนุรักษ์หลังคาอาคารเก่าสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากศึกษานี้ช่วยในการนำเสนอการจำลองเสมือนจริง (Simulation) สำหรับการจัดวางตำแหน่งและสัดส่วนจำนวนการใช้วัสดุใหม่ร่วมกับวัสดุเดิมได้สมจริงสมบูรณ์มากขึ้นด้วยการทดลองปรับเปลี่ยนรูปแบบการกำหนดสัดส่วนการเคลือบสีแผ่นกระเบื้องหลังคาได้อย่างง่ายดาย แค่การกรอกตัวเลข แล้วใช้เมาส์คลิกเพียงครั้งเดียวเท่านั้น



รูปที่ 1 การบูรณะเบื้องหลังคาใหม่ทั้งแถบทางซ้ายมือ



รูปที่ 2 การบูรณะเบื้องหลังคาใหม่ทดแทนของเดิมในช่วงกลาง

1.2 จุดประสงค์

1. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม กรณีศึกษา การซ่อมปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาอาคารเก่าด้วยการคละสีผสมการใช้วัสดุเก่าและใหม่
2. พัฒนาเทคนิควิธีการทางคอมพิวเตอร์ในการจัดวางกระเบื้องหลังคาอาคารเก่าให้โดยอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้วิธีมอนติคาร์โล (วิธีสุ่มกระจายตามทฤษฎีความน่าจะเป็น) [5]
3. พัฒนารูปแบบและออกแบบการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้เหมาะสมและง่ายต่อการใช้งานของสถาปนิก

1.3 นิยามศัพท์

วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) เป็นทฤษฎีพื้นฐานอย่างหนึ่งของขั้นตอนวิธีสุ่มกระจาย(Randomized Algorithms) ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นกับข้อมูลตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และการจำลองเสมือนด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับประยุกต์ใช้ในการลดความซับซ้อนของการคำนวณ และประยุกต์ใช้ในการสร้างชุดสุ่มกระจายข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำสำหรับการคำนวณที่ต้องการคำตอบที่เป็นธรรมชาติมากกว่ารูปแบบตายตัวที่ถูกกำหนดไว้แล้วล่วงหน้าจากคอมพิวเตอร์

2. การสร้างหลังคาอาคารเก่าด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิก

2.1 เทคนิค Texture Mapping

การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดวางภาพจริงของวัสดุไปยังผิวของวัตถุที่จำลองขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ [6] (Texture Mapping) ช่วยให้การสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิกมีความสมจริงมากขึ้น [7] เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในแทบทุกงาน 3 มิติสมจริง แต่สำหรับการจำลองกลุ่มอาคารเก่าด้วยคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการสร้างภาพหลังคาอาคารเก่าด้วยกระเบื้องปูหลังคาที่มีสีไม่สม่ำเสมอ มีความเก่าใหม่คละสีกันไปมาตามธรรมชาติของวัสดุที่เปลี่ยนไปตามอิทธิพลจากแสงแดดและฝนเป็นระยะเวลานานนั้น

2.2 เทคนิค Computer Visual Simulation

จากผลงานวิจัยเรื่อง The Visual Harmony Between New and Old Materials in the Restoration of Historical Architecture [8] จาก National Chiao Tung University ประเทศ Taiwan ที่เน้นศึกษาเทคนิคการเลือกคละสีผสมการใช้วัสดุเก่าและใหม่กับผลกระทบด้านการมองเห็น ได้ข้อสรุปประเด็นหนึ่งว่าการใช้กระเบื้องหลังคาเดิมในสัดส่วน 80% จะได้การมองเห็นกลมกลืนเป็นพื้นหลังคาเก่าได้สมบูรณ์นั้นเป็นผลงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ สำหรับใช้กับงานซ่อมปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาอาคารจริงจากวัสดุเดิมรวมกับการใช้วัสดุใหม่เพียงบางส่วน เพื่อคงสภาพรูปลักษณะอาคารเก่าแบบเดิมไว้ให้ได้มากที่สุด จึงมุ่งเน้นไปยังวิธีดำเนินการ เพื่อให้ได้คำตอบเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการคละสีวัสดุเก่าและใหม่โดยคำนึงถึงผลกระทบด้านการมองเห็นเป็นหลัก

วิธีการทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้จึงเป็นการผสมผสานระหว่างเทคนิค Texture Mapping ที่มีในซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบอยู่แล้ว มาประยุกต์เสริมเพิ่มเติมด้วยการใช้เทคนิคการตกแต่งภาพ เข้ามาช่วยทำให้สามารถเตรียมภาพกระเบื้องหลังคาที่มีสีเก่าใหม่คละสีกันได้ง่ายขึ้น โดยเริ่มจากการจัดเรียงจากเพียงสีเดียวก่อนที่จะใช้ซอฟต์แวร์ตกแต่งภาพช่วยปรับเปลี่ยนสีในแต่ละแผ่นกระเบื้องให้ดูเก่าใหม่คละสีกันสมจริงเป็นธรรมชาติตามประสบการณ์ และความสามารถในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตกแต่งภาพประกอบเข้าด้วยกัน

2.3 เทคนิค Computer 3D Model Simulation

การศึกษานี้เน้นขั้นตอนการออกแบบรูปแบบการจัดวางตำแหน่งการปูให้คละสีสลับสีกระเบื้องเก่าและใหม่ ผสมผสานจัดสัดส่วนจำนวนที่เหมาะสมกลมกลืน ดูเป็นพื้นหลังคาเก่าตามธรรมชาติ ด้วยเทคนิคที่ไม่มีในซอฟต์แวร์ ปัจจุบันที่ใช้เทคนิคในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 โดยในทุก ๆ ขั้นตอนจะดำเนินการภายในสเปซ 3 มิติขนาดเท่าจริงจัดวางลงภายในคอมพิวเตอร์ด้วยกระเบื้องหลังคาเสมือนจริงจำนวนเท่าจริง

การประมวลผลของซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้ตั้งแต่การสร้างรูปทรงหลังคา [9] จนถึงการปูกระเบื้องที่การศึกษาจะเน้นที่ขั้นตอนการปูกระเบื้องคละสีด้วยวิธีมอนติคาร์โล โดยการทำงานใน 3 ขั้นตอนคือ

3. การเลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนา

3.1 เลือกใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ C++

ในการพัฒนาโปรแกรมใหญ่ที่มีความซับซ้อนจำเป็นต้องทำการแยกพัฒนาโปรแกรมเขียนส่วนย่อยหลายส่วนแล้วจึงนำโปรแกรมย่อยเข้มารวมเป็นโปรแกรมหลักอีกครั้งโดยใช้เทคนิคการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) ที่ได้รับการยอมรับเช่น ภาษา C++ หรือ Java แต่เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสถาปัตยกรรมจำเป็นต้องมีกราฟิกและจัดการกับข้อมูลจำนวนมาก จึงต้องใช้ C++ ที่สามารถวิเคราะห์และคำนวณได้รวดเร็วกว่าภาษา Java ทำให้ภาษา C++ เป็นภาษาที่เหมาะสมในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสถาปัตยกรรม และเป็นทางเลือกที่ดีกว่าภาษาคอมพิวเตอร์อื่น ๆ

3.2 เลือกใช้ภาษาสร้างคอมพิวเตอร์กราฟิก OpenGL

วิธีการเขียนโปรแกรมแสดงสิ่งที่เป็น 3 มิติลงบนจอภาพ 2 มิติ นั้น จะต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงที่ซับซ้อนมาก ซึ่งโดยปกติผู้พัฒนาโปรแกรมจะไม่เขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณสิ่งเหล่านี้เอง แต่จะใช้วิธีนำเอาโปรแกรมคำนวณต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาจนสมบูรณ์แล้วและถูกเก็บสะสมรวบรวมไว้ด้วยกัน ในที่นี้เรียกว่า กราฟฟิกไลบรารี (Graphics Library) เพื่อให้ง่ายต่อการเลือกใช้ หรือเลือกเข้ามาเป็นส่วนประกอบเสริมเข้ากับโปรแกรมของตนเอง ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมกราฟิก 3 มิติ ทำได้ง่าย ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ผู้เขียนโปรแกรมจะมีเวลามากขึ้นในการพัฒนาส่วนสำคัญอื่น ๆ มากกว่าต้องใช้เวลาส่วนใหญ่ในส่วนของการแสดงผล

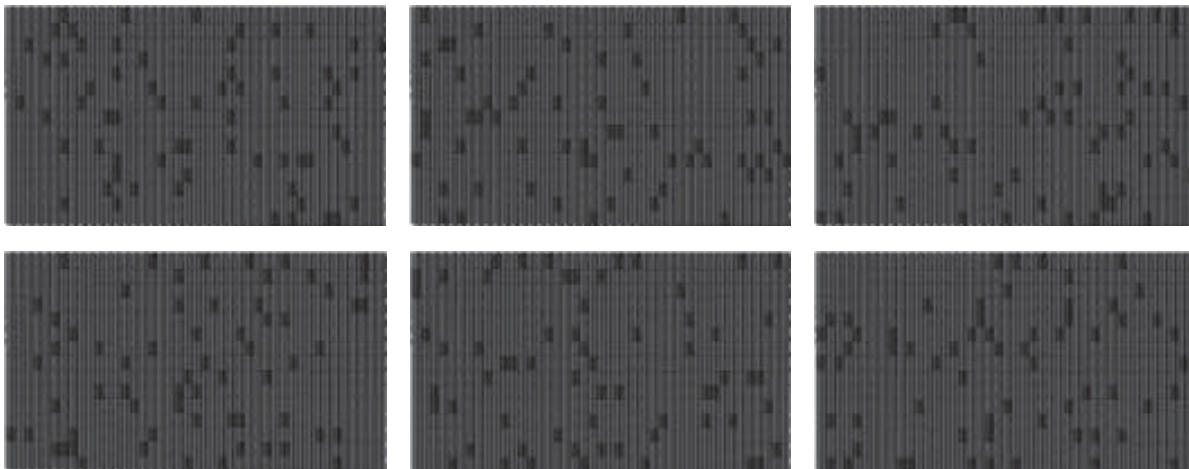
OpenGL เป็นกราฟฟิกไลบรารี ที่เป็นมาตรฐานของวงการคอมพิวเตอร์กราฟิกในปัจจุบัน เพราะสามารถใช้ได้กับทุก ๆ ระบบปฏิบัติการทั้งวินโดวส์ แมคอินทอช ยูนิกซ์ ลินุกซ์ และเป็นกราฟฟิกไลบรารีมาตรฐานที่ใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านกราฟิกทั้ง 2 และ 3 มิติ ของแทบทุกโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนี้

3.3 เลือกใช้ภาษาสร้างระบบติดต่อกับผู้ใช้ Qt

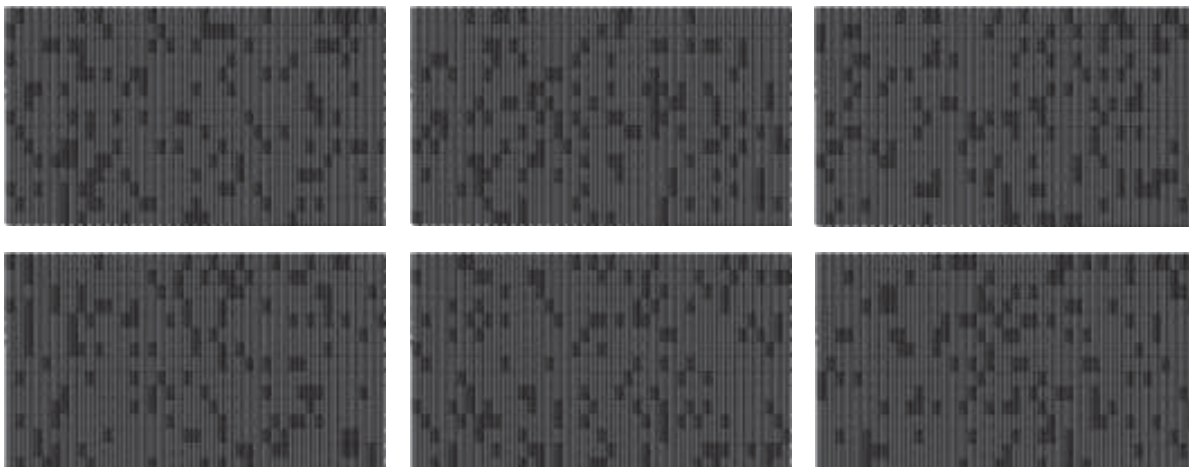
ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สมบูรณ์นั้น ขาดไม่ได้เลยที่จะมีการรับส่งข้อมูลจากคีย์บอร์ด หรือเมาส์ผ่านไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการทำงานของระบบติดต่อกับผู้ใช้ที่มีความหลากหลายมาก แต่ในการศึกษานี้เลือกใช้ระบบของ Qt เพราะ Qt มีคุณสมบัติพิเศษคือ เป็นระบบปฏิบัติการเดียวที่สามารถสร้างระบบติดต่อกับผู้ใช้ (Graphical User Interface: GUI) ที่มีคุณสมบัติทำงานได้กับหลายระบบ ทั้งบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แมคอินทอช และลินุกซ์ ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาซอฟต์แวร์ ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะสามารถใช้โค้ดต้นฉบับโปรแกรม ชุดเดียวกันสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ของระบบปฏิบัติการที่ต่างกันได้ โดยจะได้เป็นซอฟต์แวร์หลายชุดเฉพาะ แยกตามแต่ละระบบปฏิบัติการแตกต่างจากการพัฒนาด้วยวิธีของ Java ที่จะได้เป็นซอฟต์แวร์ชุดเดียวที่สามารถทำงานได้กับทุกระบบปฏิบัติการ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูงในการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบฐานข้อมูล แต่สำหรับซอฟต์แวร์ทางด้านกราฟิกแล้ววิธีของ Qt จะแยกการพัฒนาและติดตั้งซอฟต์แวร์สำหรับระบบปฏิบัติการนั้น ๆ โดยเฉพาะ เพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์ที่สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

4. ตัวอย่างผลการใช้โปรแกรมในการทดสอบเรียงคละสลับสีกระเบื้องหลังคา

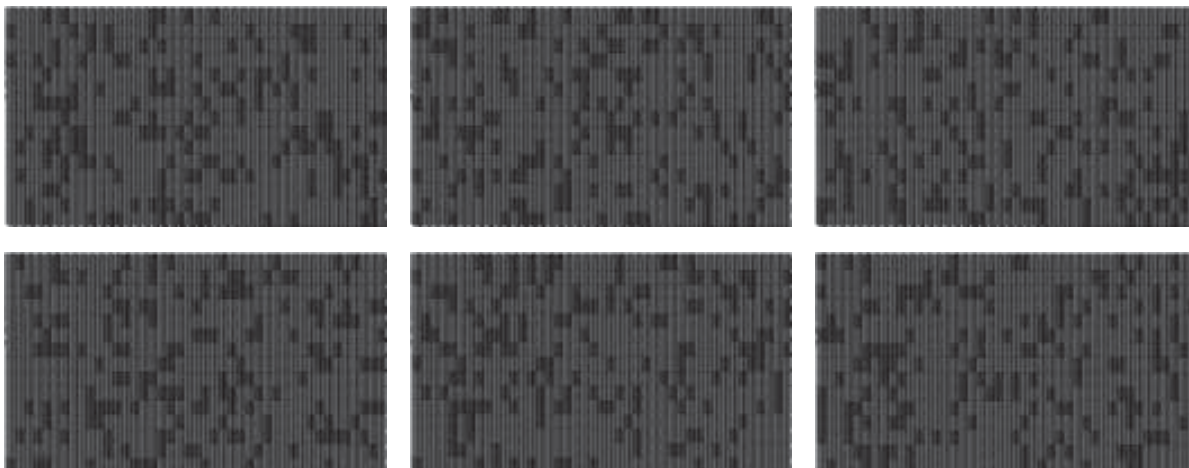
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 1:9



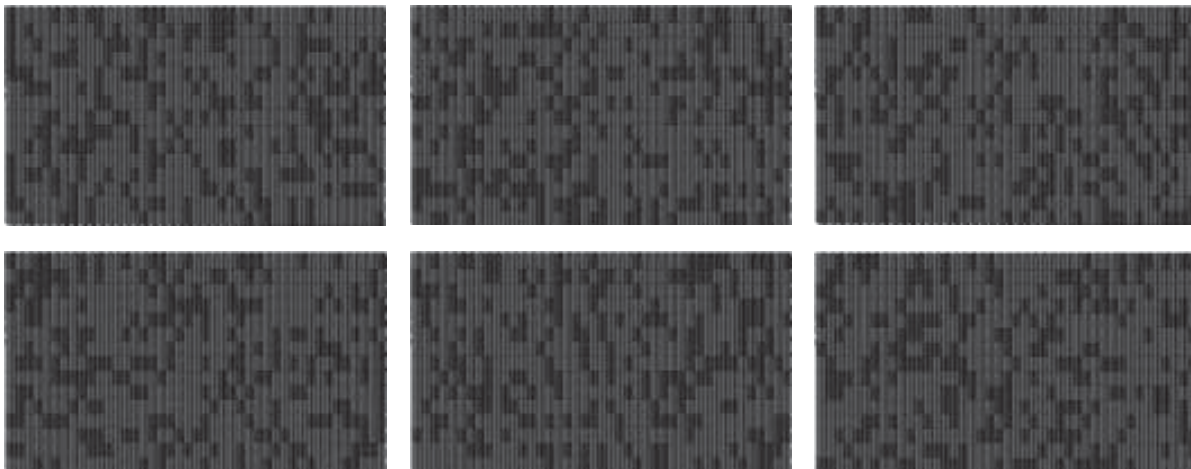
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 1:4



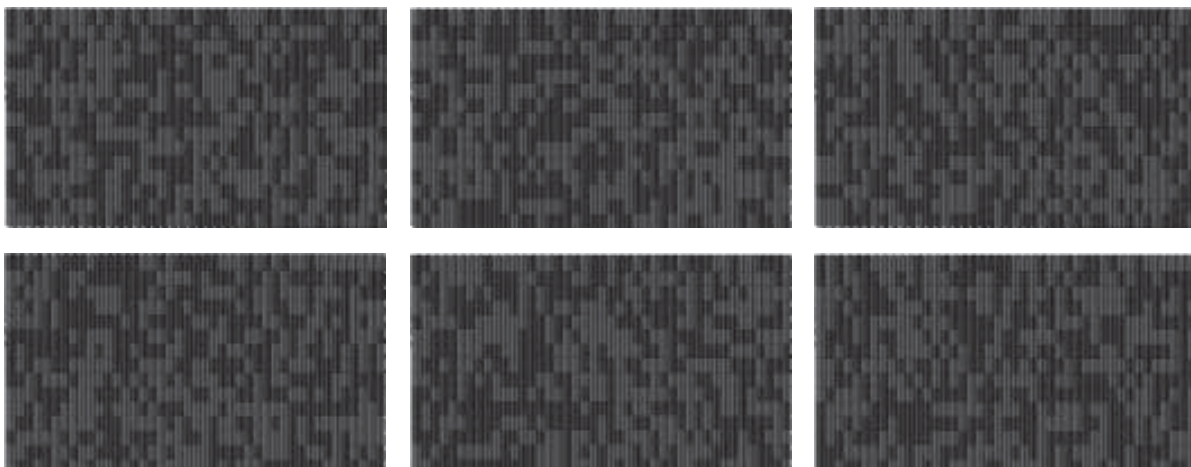
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 1:3



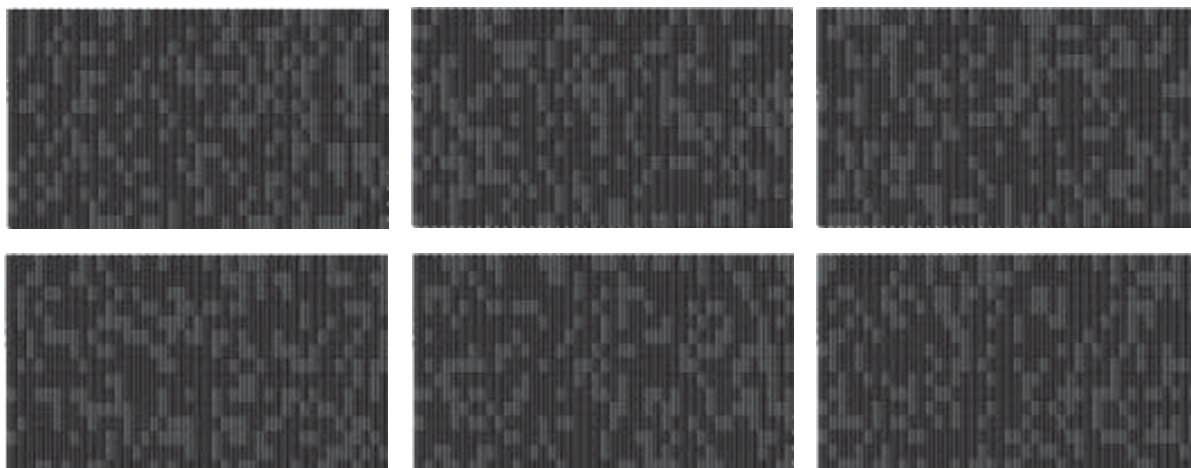
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 1:2



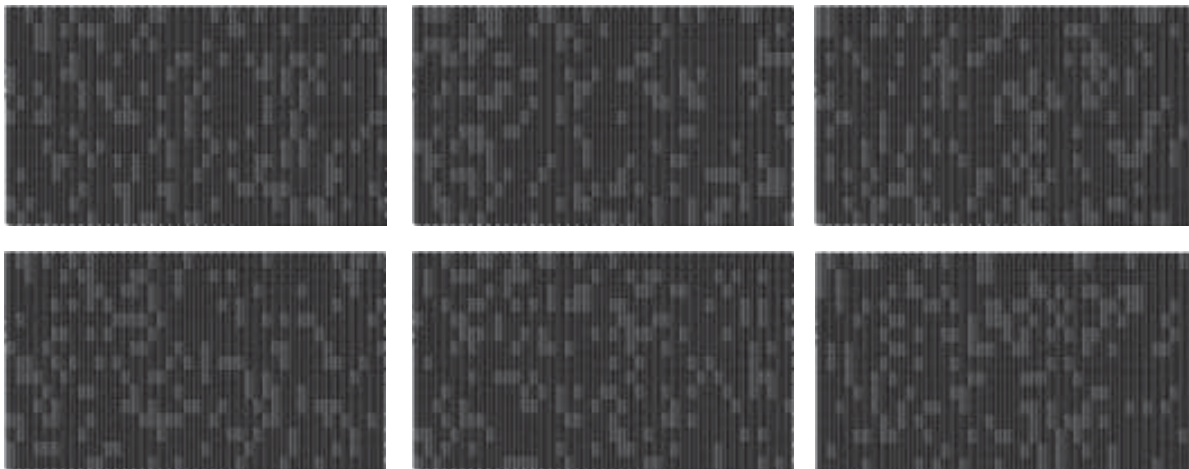
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 1:1



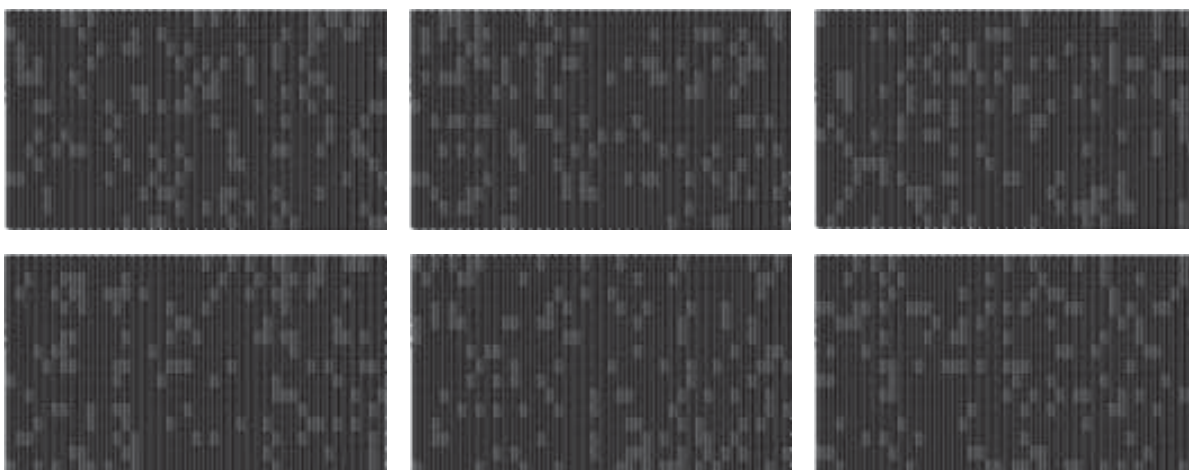
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 2:1



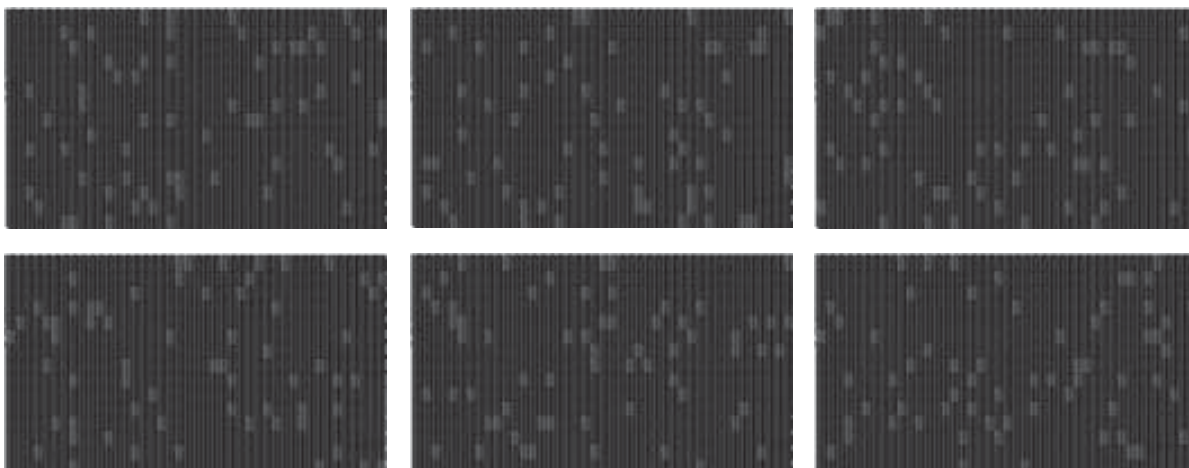
สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 3:1



สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 4:1



สัดส่วนการใช้สีเข้มต่อสีอ่อน 9:1



5. อภิปรายผลการศึกษา

กระบวนการที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ที่มุ่งประเด็นเน้นหาวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพที่สุด สำหรับใช้ในวิธีการหาความเป็นไปได้ของทางเลือกมากกว่าการเน้นที่ตัวคำตอบโดยตรง เป็นการเปิดโอกาสให้สถาปนิกได้ทดลองเลือกใช้สีที่แตกต่างกัน ทดลองปรับเปลี่ยนส่วนผสมแบบต่างๆ เพื่อหาความเป็นไปได้ในการออกแบบที่หลากหลายได้ด้วยการคลิกเมาส์เพียงครั้งเดียวเท่านั้น

สำหรับวิธีมอนติคาร์โลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเพียงแค่การสลับตำแหน่งเท่านั้น เพื่อให้ได้ผลการจัดเรียงกระเบื้องหลังคาที่ คละสีและตำแหน่งแบบสุ่มกระจายตามทฤษฎี

ความน่าจะเป็น โดยไม่ได้คำนึงถึงว่าภาพรวมของทั้งผืนหลังคานั้นจัดเรียงดูเป็นธรรมชาติหรือไม่มากนักน้อยเพียงใด ผู้ใช้จะต้องตัดสินใจความพึงพอใจด้วยตัวเอง โดยการเลือกบันทึกภาพและข้อมูลเก็บไว้หรือทดลองใช้เมาส์คลิกปุ่มต่อไปจนกว่าจะพบรูปแบบที่ต้องการ

เพื่อให้การศึกษานี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น จึงควรมีการพัฒนาให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและจัดการกับรูปแบบการสุ่มกระจายที่ซับซ้อนมากขึ้น สามารถเข้าใจรูปแบบพิเศษของธรรมชาติที่ไม่มีรูปแบบตายตัวได้

รายการอ้างอิง (References)

- [1] John D. Gilleard, John Myers, Olugbemiga A. Olatidoye. (1990). "Computer Applications in Architectural Conservation." ACADIA Conference Proceedings, 187-199.
- [2] Santiago Sanchez, Alberto Zulueta, Javier Barrallo. (1997). "CAAD and Historical Buildings: The Importance of the Simulation of the Historical Process." eCAADe Conference Proceedings.
- [3] Hwa-Ryong Lee. (1999). "The Changing Face of Architectural Computing Research." eCAADe Conference Proceedings, 11-17.
- [4] Justin Legakis, Julie Dorsey, Steven Gortler.(2001). "Feature-based cellular texturing for architectural models." ACM Conference Proceedings on Computer Graphics and Interactive Techniques, 309-316.
- [5] Rajeev Motwani, Prabhakar Raghavan. (2001). "Randomized algorithms." ACM Journal on Computing Surveys. 28(1), 33-37.
- [6] Paul S. Heckbert. (1984). "Survey of Texture Mapping." IEEE Conference Proceedings on Computer Graphics & Applications, 56-67.
- [7] Marc Pollefeys, et al. (2001). "Image-based 3D acquisition of archaeological heritage and applications." ACM Conference Proceedings on Virtual reality, archeology, and cultural heritage, 255-262.
- [8] Chen-Kai Tang, et al. (2001). "The visual harmony between new and old materials in the restoration of historical architecture: A study of computer simulation." CAADRIA Conference Proceedings, 205-210.
- [9] Murali Paranandi. (1995). "Roof Modeling Using Architectural Semantics Paradigm." ACADIA Conference Proceedings, 333-350.