

# โครงร่างวิทยานิพนธ์

## (THESIS PROPOSAL)

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบทันที  
ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ) IMPROVING REAL-TIME UNEVEN GREEN SCREEN MATTING

เสนอโดย นายวรายุ จรียาวัดมนรัตน์  
รหัสนิสิต 597 03051 21  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
สถานที่ติดต่อ ภาควิชาคอมพิวเตอร์วิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
โทรศัพท์ 08-3038-3475  
อีเมล Warayu.Ja@student.chula.ac.th  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อรรถวิทย์ สุดแสง

คำสำคัญ (ภาษาไทย) การประมวลผลภาพดิจิทัล, การแยกฉากหลังบนพื้นสีเขียว, การเปรียบเทียบความต่างสี, การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล  
คำสำคัญ (ภาษาอังกฤษ) DIGITAL IMAGE PROCESSING, GREEN SCREEN MATTING, COLOR DIFFERENCE, KERNEL DENSITY ESTIMATION

# การปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบทันที (IMPROVING REAL-TIME UNEVEN GREEN SCREEN MATTING)

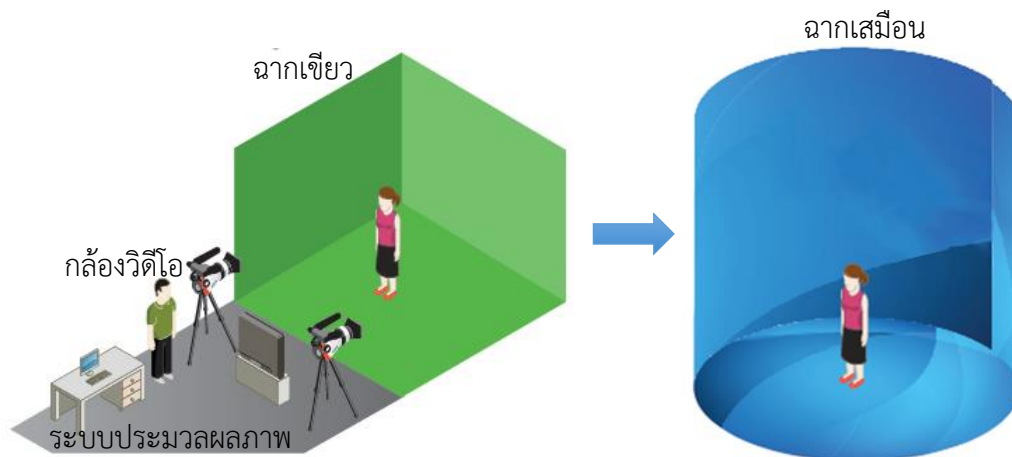
นาย วราวุธ จรรย์วัฒน์

## 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้งานแพร่ภาพออกอากาศเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีช่องทางการนำเสนอที่มากขึ้นกว่าแต่ก่อน ไม่ว่าจะเป็น ทีวีดิจิทัล หรือสื่อออนไลน์ต่าง ๆ เช่น เฟสบุ๊ก ไลฟ์ (Facebook Live) หรือ ยูทูบ ไลฟ์ (YouTube Live) นำไปสู่การแข่งขันทางด้านเนื้อหาและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกอากาศ เพื่อดึงดูดผู้ชมให้ได้มากที่สุด

ระบบสตูดิโอเสมือนจริง (Virtual Studio) จึงเป็นสิ่งที่มักถูกนำมาใช้ในการสร้างสรรค์ ผลิตเนื้อหา รายการที่น่าสนใจ และเข้าใจง่าย เนื่องจากระบบสตูดิโอเสมือนจริงสามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพื่อสร้างเอฟเฟค หรือ แบบจำลองต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำในระบบสตูดิโอจริง ได้ หรือถ้าทำได้ต้องใช้เวลาหรือค่าใช้จ่ายสูง

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสตูดิโอเสมือนจริงแสดงในรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยกล้องวิดีโอที่ใช้ในการถ่ายทำ ฉากเขียวที่จะถูกตัดออก ฉากเสมือนที่จะใส่เข้าไปแทน และระบบประมวลผลภาพที่จะทำการแยกฉากเขียวแล้วนำคนเข้าไปประกอบกับภาพฉากเสมือน โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสตูดิโอเสมือนจริง

1. เริ่มต้นที่การรับภาพจากกล้องเพื่อนำมาแยกคนออกจากฉากเขียว
2. หลังจากนั้นภาพฉากเสมือนจริงจะถูกสังเคราะห์ตามตำแหน่งกล้องที่ถูกคำนวณมา
3. ภาพผลลัพธ์จะได้รับการนำภาพคนมารวมกับภาพฉากเสมือน

จากการทำงานของระบบสตูดิโอเสมือนจริง จะเห็นได้ว่าการประมวลผลหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการแยกฉากเขียว ถ้าขั้นตอนนี้สามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง ก็จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่ดีตามไปด้วย นอกจากนี้การแยกฉากเขียวไม่เพียงแต่นำไปใช้กับระบบสตูดิโอเสมือนจริงได้เท่านั้น แต่การแยกฉากเขียวยังสามารถนำไปใช้กับงานซ้อนภาพทั่วไปได้ เช่น การรายงานสภาพอากาศ หรือ การเปิดรายการสั้น ๆ ที่มีการใช้มุกล้อเล่นเพียงมุกเดียว ด้วยประโยชน์ใช้สอยของระบบการแยกฉากเขียวจึงนำมาสู่งานวิจัยนี้ ที่มุ่งเน้นในการผลิตระบบการแยกฉากเขียวที่มีประสิทธิภาพทัดเทียมหรือดีกว่าระบบที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาด

เนื่องจากมีความต้องการในการผลิตเนื้อหารายการเป็นอย่างมาก ระบบสตูดิโอในปัจจุบันจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นสตูดิโอขนาดใหญ่ ใช้อุปกรณ์ราคาสูงอีกต่อไป อาจจะเน้นไปในการใช้อุปกรณ์เดิมที่มีอยู่เช่น กล้องวิดีโอ ไฟสตูดิโอ และพื้นที่ที่จำกัด เพื่อลดต้นทุนในการผลิตรายการ ทำให้เกิดข้อจำกัดมากมายในการใช้ฉากเขียวประกอบการถ่ายทำกล่าวคือ กล้องวิดีโอไม่มีความละเอียดต่ำหรือมีการรบกวนของภาพ ไฟสตูดิโอไม่เพียงพอหรือปรับความสว่างได้ไม่ละเอียด พื้นที่จำกัดทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสีเขียว รวมไปถึงการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการให้ลวดลายกับฉากเขียวเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบสตูดิโอเสมือนจริง ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ปัญหาการแยกฉากเขียวไม่ใช่เพียงแค่เลือกสีเขียวสีเดียวแล้วตัดออก แต่ยังต้องมีความสามารถในการเลือกสีเขียวที่จะตัดออกได้หลายโทนสีอย่างเหมาะสม และมีความทนทานต่อการถูกรบกวนของภาพจากกล้องวิดีโอ

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่จะใช้ในการแยกคนออกจากฉากหลัง โดยฉากหลังที่สนใจคือฉากหลังที่มีสีเขียวเป็นหลักเนื่องจากการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจะมีความสามารถในการแยกฉากสีเขียวได้หลายโทน มีความทนทานต่อสภาพแสงและมีความทนทานต่อการถูกรบกวนของภาพจากกล้องวิดีโอ และมีประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งานแบบทันทีได้

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแยกฉากเขียวแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การแยกฉากเขียวที่ยึดสีเขียวเป็นหลักและการแยกฉากหลังที่ไม่จำเป็นต้องเป็นสีเขียว ความแตกต่างระหว่างงานทั้งสองฝั่งนี้คือ ระบบที่ใช้การแยกฉากเขียวเป็นหลักมีความรู้ก่อนหน้าแล้วว่าสีที่ถูกตัดออกควรจะมีสีเขียว ในขณะที่ระบบที่ตัดฉากหลังที่ไม่จำเป็นต้องเป็นสีเขียวจะต้องอาศัยการระบุว่ามีสีใดในบริเวณใดจะเป็นฉากหลังหรือเป็นวัตถุด้านหน้า ทำให้ระบบที่ใช้สีเขียวมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบที่ไม่ใช้สีเขียว อย่างไรก็ตามระบบที่ไม่ใช้สีเขียวมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่กว้างกว่ากล่าวคือ เราสามารถมองได้ว่าสีเขียวในสภาพแสงต่าง ๆ รวมถึงการถูกแสงสีต่าง ๆ สาดลงสีเขียว หรือการมองสีเขียวผ่านกระจกสีเป็นประเภทของฉากหลังที่ไม่เฉพาะเจาะจงสี งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับทฤษฎีทั้งสองส่วน

### 1. พื้นหลังเป็นสีเขียว (เขียวหรือน้ำเงิน)

ขั้นตอนวิธีที่ใช้สีเขียวเป็นสีพื้นถูกสรุปไว้ใน [1] โดย 2 วิธีหลัก ๆ คือ Chromakey และ Color difference ซึ่งสองวิธีนี้ถือเป็นพื้นฐานของซอฟต์แวร์และระบบตัดฉากเขียวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

เช่น Keylight ในโปรแกรม After Effects ระบบ Primatte หรือ ระบบ Ultimatte เป็นต้น สองวิธีนี้ใช้การคำนวณที่ต่างกันคือ Chromakey ใช้การหีบสีเขียวมาหนึ่งสีเป็นสีอ้างอิง ค่าความทึบ (alpha) ถูกคำนวณจากระยะห่างระหว่างค่าสีที่จุดนั้น ๆ กับสีอ้างอิงในปริภูมิสีใด ๆ ค่าสีที่ใกล้สีอ้างอิงมาก ๆ จะมีค่าความทึบต่ำหรือเป็นสีฉากหลังนั่นเอง สำหรับจุดที่มีค่าสีต่างจากสีอ้างอิงจะมีค่าความทึบสูงหรือเป็นวัตถุด้านหน้า

$$\alpha_i \propto \|C_r - C_i\|$$

เมื่อ  $\alpha_i$  คือ ค่าความโปร่งแสง

$C_r$  คือ ค่าสีอ้างอิง

$C_i$  คือ ค่าสีที่จุดนั้น ๆ

ในขณะที่ Color difference ใช้หลักการของปริภูมิสี RGB โดยมองที่ความต่างระหว่างสีเดียวกับค่าสีที่มากที่สุดระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน ค่าความต่างของช่องสีแปรผกผันกับค่าความทึบ นั่นคือความต่างมากสีเขียวมากกว่ามากควรที่จะถูกจัดเป็นฉากหลัง ความต่างน้อยสีเขียวไม่โดดเด่นควรที่จะถูกจัดเป็นวัตถุด้านหน้า

$$\alpha_i \propto 1 - (C_{i,G} - \max(C_{i,R}, C_{i,B}))$$

## 2. พื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะ

งานวิจัยในหมวดนี้มักจะถูกเรียกว่า Alpha matting คือการหาค่าความทึบจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่จุดนั้น ๆ กับค่าสีที่เป็นพื้นหน้าและค่าสีที่เป็นพื้นหลัง โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้คือ สีที่จุดนั้น ๆ เกิดจากผลรวมเชิงเส้นของสีพื้นหน้าและสีพื้นหลัง

$$C_i = \alpha_i F_i + (1 - \alpha_i) B_i$$

เมื่อ  $F_i$  และ  $B_i$  คือค่าสีพื้นหน้าและค่าสีพื้นหลังสำหรับจุดนั้น ๆ จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่ไม่รู้ค่าคือ  $\alpha_i$ ,  $F_i$  และ  $B_i$  ซึ่งจำนวนสมการน้อยกว่าจำนวนตัวแปรมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มข้อจำกัดด้วยข้อมูลบางส่วนนั่นคือ ส่วนที่เป็นพื้นหน้า (foreground) ส่วนที่เป็นพื้นหลัง (background) คือส่วนที่ระบุ (known) และส่วนที่ไม่ระบุ (unknown) หรือเรียกรวมว่าไตรแมพ (trimap)

โดยในทางทฤษฎีแล้ว ขั้นตอนวิธีที่มีพื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะจะมีความทนทานต่อสภาพแสงมากกว่า ขั้นตอนวิธีที่มีพื้นหลังเป็นสีเขียวเมื่อมีการกำหนดไตรแมพที่แม่นยำมาให้ แต่การกำหนดไตรแมพที่แม่นยำนั้นจะเกิดจากการกำหนดโดยผู้ใช้ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานแบบทันที ดังนั้นกรอบความคิดของงานวิจัยนี้จึงนำความรู้เบื้องต้นของฉากหลังที่เป็นสีเขียวนำมาใช้ในการกำหนดไตรแมพที่มีความแม่นยำเพื่อนำไปใช้กับขั้นตอนวิธีที่มีพื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะ ซึ่งทั้งส่วนการกำหนดไตรแมพที่แม่นยำและขั้นตอนวิธีการแยกฉากหลังที่มีพื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะจะถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้

## 3. วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการแยกฉากหลังสีเขียวมีอยู่ ให้มีความสามารถในการแยกฉากสีเขียวได้หลาย โทน มีความทนทานต่อสภาพแสงและการถูกรบกวนของภาพจากกล้องวิดีโอ และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน แบบทันทีได้

#### 4. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้หลัก ๆ จะเป็นกล้องวิดีโอ ที่แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ตาม คุณภาพและราคาดังตารางนี้

ประเภทของกล้องวิดีโอที่ใช้เก็บภาพวิดีโอ	ความละเอียดของภาพ	ประเภทการส่งสัญญาณ
กล้องวิดีโอคุณภาพสูง	Full HD	SDI-3G
กล้องวิดีโอคุณภาพทั่วไป	Full HD	HDMI

#### 5. แนวคิดของงานวิจัย และวิธีการดำเนินงาน

##### 5.1. แนวคิดของงานวิจัย

ในการคำนวณหาค่าความทึบแสงของงานวิจัยนี้ จะอาศัยข้อมูลที่รู้ว่าสีของพื้นหลังเป็นสีหลักอะไร เช่น ในกรณีนี้ใช้สีหลักเป็นสีเขียวก็จะเป็นไปตามสมการ

$$D_i = C_{i,G} - \max(C_{i,R}, C_{i,B})$$

เมื่อ  $C_{i,R}$ ,  $C_{i,G}$  และ  $C_{i,B}$  แทน ค่าสีแดง, เขียว และน้ำเงินของพิกเซลนั้น ๆ ตามลำดับ หลังจากนั้น ค่า  $D_i$  จะถูกนำมาคำนวณค่า  $\alpha_i$  โดยใช้ค่า  $gain_D$  และ  $b_D$  เพิ่ม ตามสมการ

$$\alpha_i = -gain_D D_i + b_D$$

เมื่อ  $gain_D$  และ  $b_D$  ใช้สำหรับควบคุมความชันของกราฟ  $\alpha_i$  ตาม [1] หรือสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบนี้ได้

$$\alpha_i = 1 - \text{saturate} \left( \frac{D_i - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} \right)$$

เมื่อ  $\text{saturate}$  คือฟังก์ชันสำหรับจำกัดขอบเขตของข้อมูลขาเข้าให้อยู่ในช่วง  $[0, 1]$  และค่า  $gain_D$  และ  $b_D$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูป  $t_{max}$  และ  $t_{min}$  ได้ดังนี้

$$gain_D = \frac{1}{t_{max} - t_{min}}$$

$$b_D = \frac{t_{max}}{t_{max} - t_{min}}$$

หรือถ้าเขียนให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย จะได้ดังนี้

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \text{when } D_i < t_{min} \\ 0 & \text{when } D_i > t_{max} \\ 1 - \frac{(D_i - t_{min})}{(t_{max} - t_{min})}, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

ปกติแล้วค่า  $t_{min}$  และ  $t_{max}$  จะถูกกำหนดด้วยมนุษย์ เพื่อเป็นค่าขีดจำกัดสำหรับบอกค่าความทึบแสง และยังใช้ค่าเดียวกันนี้กับทุกพิกเซลในภาพ (global threshold)

งานวิจัยในรายงานฉบับนี้ได้นำรูปแบบของการสร้างตัวแบบจำลองเฉพาะที่เพื่อปรับค่า  $t_{min}$  และ  $t_{max}$  ที่เหมาะสมกับจุดสีนั้น ๆ อย่างอัตโนมัติ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่การสร้างไทรแมพ โดยที่งานวิจัยอื่น ๆ ต้องการไทรแมพที่มีความถูกต้องซึ่งมักจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้และใช้ความพยายามค่อนข้างสูง ในขณะที่งานวิจัยนี้ใช้การตั้งค่า  $t_{min}$  และ  $t_{max}$  ครอบคลุมแบบหลวม ๆ เพื่อให้กรณีที่ฉากสีเขียวยมีปัญหา เช่น ถูกแสงสว่างมากเกินไปหรือน้อยเกินไป และในกรณีที่ฉากหน้าเป็นสีเขียวถูกจัดอยู่ในส่วนที่ไม่ระบุ หลังจากนั้นทุกจุดสีจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการสร้างตัวแบบจำลองเฉพาะที่เพื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าสีเขียวด้วยการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล (kernel density estimation, KDE) โดยจุดสูงสุดเฉพาะที่ได้จากการสร้างตัวแบบจำลองจะถูกนำมาพิจารณาในการปรับค่า  $t_{min}$  และ  $t_{max}$  สำหรับจุดสีนั้น ๆ โดยเฉพาะ

#### การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล

การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล เป็นขั้นตอนวิธีเชิงไม่พารามิเตอร์ (non - parametric) ที่ใช้ประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรเชิงสุ่ม นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการสร้างแบบจำลองที่ราบเรียบจากข้อมูลขาเข้าที่มีจำนวนจำกัด

นิยาม 1 ให้  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  คือตัวอย่างที่ได้จากการกระจายที่ไม่รู้ความหนาแน่น  $f$  การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลคือ

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_j - x}{h}\right)$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนข้อมูล  $K$  คือฟังก์ชันเคอร์เนล (ฟังก์ชันที่ไม่มีค่าเป็นลบ มีปริพันธ์เป็น 1 และมีค่ากลางเป็น 0)  $h > 0$  คือค่ากำหนดความราบเรียบหรือแบนด์วิดท์ (bandwidth) เมื่อเปรียบเทียบกับฮิตโตแกรมก็คือ

ค่าความกว้างของถังนั่นเอง งานวิจัยนี้ทำการกำหนดค่า  $h = 0.025$  ฟังก์ชันเคอร์เนลที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือฟังก์ชันเกาส์เซียน

$$K(x_j - x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}} e^{\left(-\frac{(x_j-x)^2}{2}\right)}$$

ขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอนี้ใช้การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลเพื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่า  $D_{W_i}$  ของจุดสี่ที่อยู่ในหน้าต่าง  $W_i$  ซึ่งมีขนาด  $\sqrt{n} \times \sqrt{n}$  ล้อมรอบจุดสี่  $C_i$  โดยอาศัยข้อสมมติที่ว่า การกระจายตัวของสี่พื้นหลังสี่เหลี่ยมและสี่พื้นหน้าในหน้าต่างมีความหนาแน่นกระจุกอยู่ไม่เกิน 2 จุด กล่าวคือ 2 จุดนั้นคือค่ามากที่สุดเฉพาะที่หรือฐานนิยมของการกระจายตัวของ  $D_{W_i}$  การค้นหาค่ามากที่สุดเฉพาะที่สามารถหาได้จากการไล่ค่า  $D$  ตั้งแต่  $t_{min}$  ถึง  $t_{max}$  โดยแต่ละค่าจะถูกแทนใน  $\hat{f}_h(D)$  เพื่อหา  $D$  ที่ทำให้เกิดค่า  $\hat{f}_h(D)$  ที่เป็นค่ามากที่สุดเฉพาะที่ หรือใช้ฟังก์ชันอนุพันธ์ลำดับที่ 1

$$\hat{f}'_h(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{j=1}^n K' \left( \frac{x_j - x}{h} \right)$$

$$K'(x_j - x) = \frac{(x_j - x)}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(x_j-x)^2}{2}\right)}$$

ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 เมื่อ  $D$  ทำให้เกิดค่า  $\hat{f}_h(D)$  ที่เป็นค่ามากที่สุดเฉพาะที่ โดยจะใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกันคือการไล่ค่า  $D$  ตั้งแต่  $t_{min}$  ถึง  $t_{max}$  จนค่า  $\hat{f}'_h(D)$  มีการเปลี่ยนเครื่องหมายจาก + เป็น - สมมติให้เป็น  $\hat{f}'_h(D_{s-1})$  และ  $\hat{f}'_h(D_s)$  ตามลำดับ โดยที่  $s$  คือลำดับการไล่ค่า  $D$  ค่า  $\hat{D}$  ที่ทำให้เกิดค่า  $\hat{f}_h(\hat{D})$  ที่เป็นค่ามากที่สุดเฉพาะที่สามารถประมาณได้จาก

$$\hat{D} = D_{s-1} + \frac{\hat{f}'_h(D_{s-1})}{\hat{f}'_h(D_{s-1}) - \hat{f}'_h(D_s)} (D_s - D_{s-1})$$

สำหรับทุก  $\hat{D}$  ค่า  $\hat{f}_h(\hat{D})$  จะถูกเก็บไว้เป็นคู่ลำดับ  $(\hat{D}_m, \hat{f}_h(\hat{D}_m))$  โดยที่  $m$  คือดัชนี เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

### การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าจำนวนค่า  $\hat{D}$  ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดของทุกจุดสีในภาพที่มีจำนวนไม่เกิน 2 มีจำนวนมากกว่าจุดสีที่มีจำนวนค่า  $\hat{D}$  ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดจำนวนเกิน 2 ในกรณีที่มีจำนวน 1 คือบริเวณที่เป็นพื้นหน้าหรือพื้นหลังเพียงอย่างเดียว และจำนวน 2 คือบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นหน้าและพื้นหลังดังแสดงใน Error! Reference source not found. (ก) แสดงภาพสี (ข) ภาพค่า  $D$  และ (ค) การประมาณความหนาแน่นคอร์เนล โดยเส้นสีแดงแสดงการประมาณความหนาแน่นคอร์เนลและเส้นสีเขียวแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของการประมาณความหนาแน่นคอร์เนล ซึ่งสมเหตุสมผลกับการสมมติจำนวนค่ามากที่สุดเพื่อลดความซับซ้อนของขั้นตอนวิธี

การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่จะแบ่งเป็น 3 กรณีตามจำนวนค่า  $\hat{D}$

1. หากมีจำนวน 1 ค่า กำหนดให้เป็น  $\hat{D}_1$  จะถูกนำไปแทนที่  $t_{min}$  เมื่อ  $|\hat{D}_1 - t_{min}| < |\hat{D}_1 - t_{max}|$  หรือแทนที่  $t_{max}$  สำหรับเงื่อนไขที่เหลือ
2. หากมีจำนวน 2 ค่า กำหนดให้เป็น  $\hat{D}_1$  และ  $\hat{D}_2$  โดย  $\hat{D}_1$  จะถูกนำไปแทนที่  $t_{min}$  และ  $\hat{D}_2$  จะถูกนำไปแทนที่  $t_{max}$
3. หากมีจำนวนมากกว่า 2 ค่า คู่ลำดับที่  $f_h(\hat{D}_m)$  มีค่ามากที่สุด 2 ลำดับแรกจะถูกเลือกขึ้นมาสมมติว่าเป็น  $\hat{D}_1$  และ  $\hat{D}_2$  โดยที่  $\hat{D}_1 < \hat{D}_2$  การแทนที่จะเป็นในรูปแบบเดียวกับกรณีที่มีจำนวน 2 ค่า

นอกจากนี้ในขณะที่ทำการกำหนดค่า  $t_{min}$  และ  $t_{max}$  จะทำการเก็บค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_{min}$  และ  $w_{max}$  โดยกำหนดให้เท่ากับค่า  $f_h(\hat{D}_m)$  ที่สัมพันธ์กับค่าฐานนิยม  $\hat{D}_m$  ที่ถูกนำไปแทนที่  $t_{min}$  หรือ  $t_{max}$  แต่ในกรณีที่ค่ากำหนดช่วงไม่ถูกแทนที่ ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่  $\epsilon$  ที่น้อยมากๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือคู่ลำดับ  $(t_{min}, w_{min})$  และ  $(t_{max}, w_{max})$

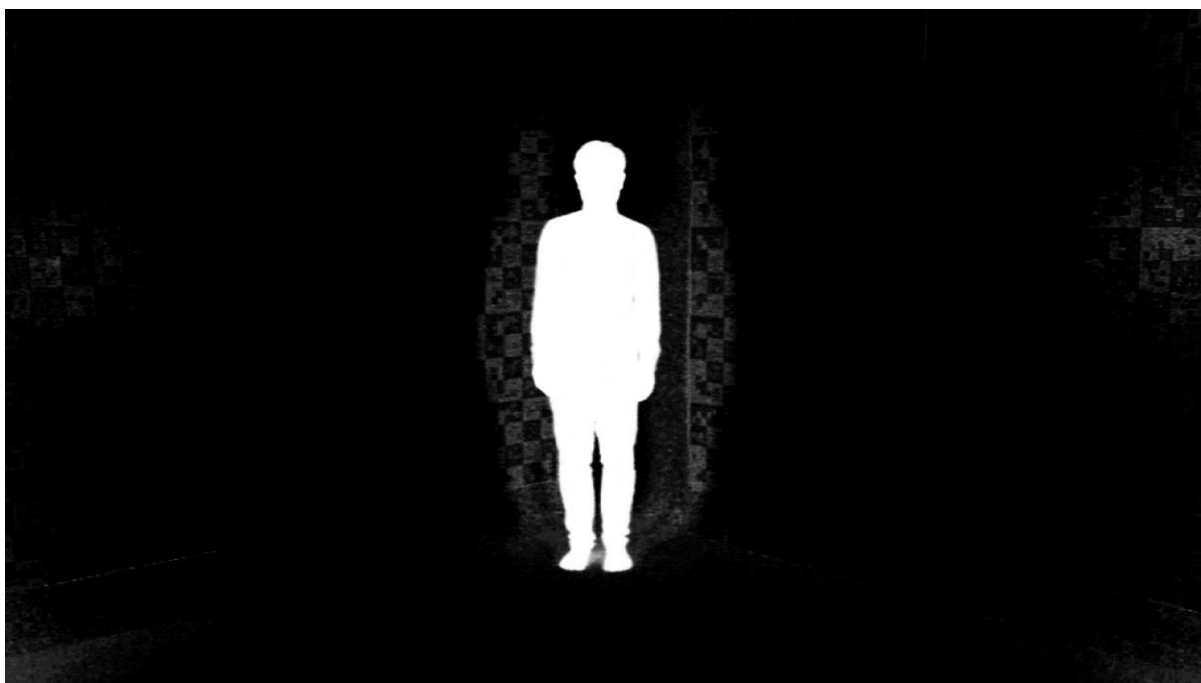
### 5.2. งานวิจัยที่ดำเนินการไปแล้ว

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เริ่มเขียนโปรแกรมด้วยระเบียบวิธีการเปรียบเทียบความต่างสีที่เป็นระเบียบวิธีพื้นฐาน เพื่อให้เห็นถึงผลลัพธ์เบื้องต้นว่าระเบียบวิธีเทียบความต่างสียังมีข้อจำกัดในบางกรณี เนื่องจากตัวระเบียบวิธีนี้ใช้ค่าจำกัดเดียวกันกับทุกจุดในภาพ



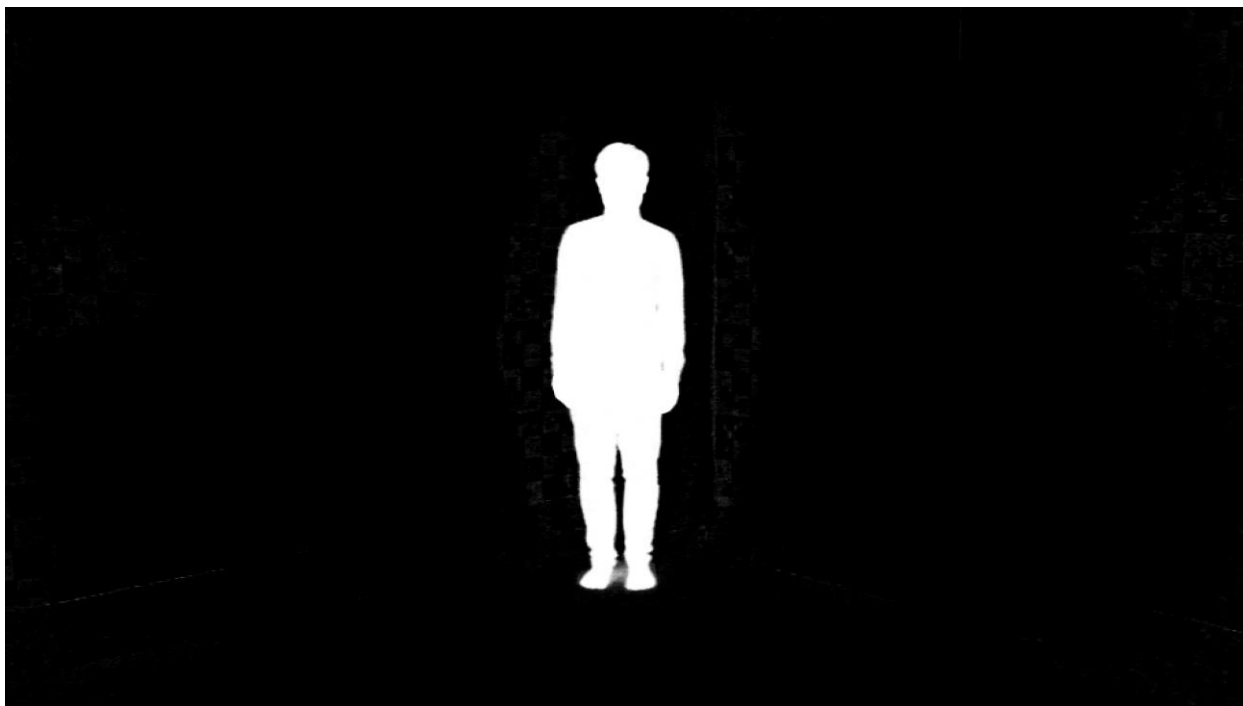


รูปที่ 2 ภาพต้นฉบับที่ได้จากกล้องวิดีโอ



รูปที่ 3 ภาพการแยกฉากหลังด้วยขั้นตอนวิธีการการเปรียบเทียบความต่างสี

ไม่เพียงเท่านั้น ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมในส่วนที่ใช้ในการประมาณความหนาแน่นของคอร์เนลเข้ามาช่วยหาค่าจำกัดแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย



รูปที่ 4 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

### 5.3. วิธีวัดผลการทดลอง

การวัดผลการทดลองจะวัดผล 2 ด้าน ได้แก่

1. ความถูกต้อง จะวัดค่า RMS Error ระหว่างภาพนิ่งในภาพที่เปลี่ยนไป ดังสมการนี้

$$RMS\ error = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{i=n} (\alpha_i - \beta_i)^2}{n}}$$

เมื่อ  $n$  แทนจำนวนพิกเซลทั้งหมด

$\alpha_i$  แทนค่าความทึบแสง ในตำแหน่งพิกเซลที่  $i$  ของ ground truth (มีค่าระหว่าง 0 – 255)

$\beta_i$  แทนค่าความทึบแสง ในตำแหน่งพิกเซลที่  $i$  ของขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ (มีค่าระหว่าง 0 – 255)

โดยจะหาค่า ค่า RMS Error ทั้ง 3 ส่วน คือ เฉพาะตัวนักแสดง, เฉพาะฉากหลัง และ ทั้งภาพตัวแปรต้นที่ไดงานวิจัยที่เสนอจากภาพโปร่งแสง ตัวแปรต้นในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่

**สีเขียว** ได้แก่ สีขาว แทนกลุ่มของสีเขียวที่เชื่อมที่ถูกลบออกจากฉากหลังสะท้อนใส่ และ สีดำ แทนกลุ่มของสีเขียวที่เชื่อมที่ไม่ถูกลบออกจากฉากหลังสะท้อนใส่

**ระยะห่างของนักแสดงกับฉากหลัง** ได้แก่ 80 เซนติเมตร แทนระยะใกล้เป็นพิเศษ กรณีที่ต้องการเพิ่มจำนวนนักแสดง หรือพื้นที่จำกัด และ 160 เซนติเมตร แทนระยะมาตรฐานที่ใช้ในการถ่ายทำปกติ

**สภาพแสง** ได้แก่ ไม่สม่ำเสมอ แทนกรณีที่มีเฉพาะแสงไฟตั้งพื้นสำหรับส่องนักแสดงเท่านั้น และ สม่ำเสมอ แทนแสงไฟที่ถูกจัดอย่างเหมาะสมสำหรับการถ่ายทำรายการ  
ได้ผลการทดลองตามตารางที่

สีเสื้อ	ระยะฉากหลัง (ซม.)	สภาพแสง	การเปรียบเทียบความต่างสี (ตัวนักแสดง, ฉากหลัง, ทั้งภาพ)
ขาว	80	ไม่สม่ำเสมอ	17.80, 6.73, 7.64
ขาว	80	สม่ำเสมอ	3.46, 0.32, 0.81
ขาว	160	ไม่สม่ำเสมอ	18.76, 7.89, 8.69
ขาว	160	สม่ำเสมอ	3.37, 0.57, 1.06
ดำ	80	ไม่สม่ำเสมอ	13.84, 8.75, 9.08
ดำ	80	สม่ำเสมอ	3.47, 0.26, 0.78
ดำ	160	ไม่สม่ำเสมอ	6.33, 7.25, 7.19
ดำ	160	สม่ำเสมอ	2.77, 0.61, 0.95

- เวลาในการประมวลผล วัดเป็นค่าเวลาเฉลี่ย 1 ภาพ ค่าที่ได้ต้องน้อยกว่า 20 มิลลิวินาที สำหรับการประมวลผลแบบทันทีที่ 50 ภาพต่อวินาที ในงานวิจัยนี้ทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางความเร็ว 3.4 GHz, หน่วยความจำ 8 GB, หน่วยประมวลผลกราฟฟิก NVIDIA Geforce GTX 1080 บนระบบปฏิบัติการ Windows 10 และพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยใช้ DirectCompute เป็นไลบรารีหลัก สำหรับระเบียบวิธีเทียบความต่างสีได้เวลาที่ 0.12 มิลลิวินาที

## 6. ขอบเขตงานวิจัย

- ทำบนพื้นหลังสีเขียวเป็นหลัก
- รับภาพผ่านทางกล้องวิดีโอหรือวิดีโอที่บันทึกไว้เท่านั้น
- เนื่องจาก ground truth เป็นการทำได้ด้วยมือ จึงใช้การวัดผลจากภาพนิ่งที่เป็นตัวแทนของภาพวิดีโอ

## 7. ขั้นตอนการดำเนินงาน

- ศึกษาทฤษฎี และค้นคว้างานวิจัยและผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้อง
- สรุปแนวคิด ข้อดี ข้อเสีย และหลักการทำงานของขั้นตอนวิธีที่เกี่ยวข้อง

3. พัฒนาขั้นตอนวิธีการแยกฉากหลังสีเขียวที่มีความสามารถในการแยกฉากสีเขียวที่ไม่สม่ำเสมอ มีความทนทานต่อสภาพแสงและการถูกรบกวน และมีประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งานแบบทันทีได้
4. ออกแบบการทดลอง ทำการทดลองและสรุปผล
5. จัดทำวิทยานิพนธ์

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Wright, Digital Compositing for Film and Video, ser. Focal Press visual effects and animation series. Elsevier/Focal Press, 2010.
- [2] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "A closed-form solution to natural image matting," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 2, pp. 228–242, 2008.
- [3] P. G. Lee and Y. Wu, "Nonlocal matting," in 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2011, pp. 2193–2200.
- [4] Q. Chen, D. Li, and C.-K. Tang, "Knn matting," in Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on. IEEE, 2012, pp. 869–876.
- [5] E. S. L. Gastal and M. M. Oliveira, "Shared sampling for real-time alpha matting," Computer Graphics Forum, vol. 29, no. 2, pp. 575–584, May 2010, proceedings of Eurographics.
- [6] K. He, C. Rhemann, C. Rother, X. Tang, and J. Sun, "A global sampling method for alpha matting," in Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on, June 2011, pp. 2049–2056.
- [7] D. Rajan, "Weighted color and texture sample selection for image matting," in Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), ser. CVPR '12. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2012, pp. 718–725.
- [8] E. Shahrian, D. Rajan, B. Price, and S. Cohen, "Improving image matting using comprehensive sampling sets," in Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, ser. CVPR '13. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2013, pp. 636–643.
- [9] J. Johnson, D. Rajan, and H. Cholakkal, "Sparse codes as alpha matte," in Proceedings of the British Machine Vision Conference. BMVA Press, 2014.
- [10] W. Wang and J. Zhao, "Robust image chroma-keying: A quadmap approach based on global sampling and local affinity," Broadcasting, IEEE Transactions on, vol. 61, no. 3, pp. 356–366, Sept 2015.

- [11] J. Wang and M. Cohen, "Optimized color sampling for robust matting," in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR'07, 2007, pp. 1–8.
- [12] M. Jin, B.-K. Kim, and W.-J. Song, "Adaptive propagation-based color-sampling for alpha matting," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 24, no. 7, pp. 1101–1110, July 2014.
- [13] R. Achanta, A. Shaji, K. Smith, A. Lucchi, P. Fua, and S. Susstrunk, "Slic superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 34, no. 11, pp. 2274–2282, Nov. 2012.
- [14] C. Y. Ren, V. A. Prisacariu, and I. D. Reid, "gslic: SLIC superpixels at over 250hz," *CoRR*, vol. abs/1509.04232, 2015
- [15] Z. Zhang, Q. Zhu, and Y. Xie, "Learning based alpha matting using support vector regression," in *ICIP*, 2012.
- [16] S. M. Yoon and G. Yoon, "Alpha matting using compressive sensing. *Electronics letters*," 48(3):153–155, 2012.
- [17] R. Schnabel, R. Wahl and R. Klein, "Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection," *Comput. Graph. Forum* 26 (2), 214-226, 20