

การปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบทันที



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Improving Real-time Uneven Green Screen Matting



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบทันที
โดย	นายวราวุธ จรรย์วัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรณวิทย์ สุตแสง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ชินธเนศ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรณวิทย์ สุตแสง)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิ นิกานันท์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ธนะธร พ่อคำ)	

วราญุ จริยาวัฒน์รัตน์ : การปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบ
ทันที. (Improving Real-time Uneven Green Screen Matting) อ.ที่ปรึกษาหลัก :
ผศ. ดร.อรรณวิทย์ สุดแสง

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวที่ไม่
สม่ำเสมอแบบทันที ในวิธีการพื้นฐาน แต่ละพิกเซลจะถูกคำนวณว่าเป็นฉากหลังโดยใช้ค่าขีดจำกัด
เดียวกันทั้งภาพเพียง 2 ค่า แต่ในความเป็นจริง วิธีการนี้มีปัญหาในหลาย ๆ กรณี เช่น พื้นหลังไม่ได้
เป็นสีเดียวกันทั้งหมด หรือมีเงาของนักแสดงทอดลงไปพื้นหลัง เป็นต้น ดังนั้นการใช้ค่าขีดจำกัด
เดียวกันหมดทั้งภาพจึงไม่เหมาะสมสำหรับกรณีดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงใช้การประมาณความ
หนาแน่นคอร์เนลมาช่วยในการหาค่าขีดจำกัดของแต่ละพิกเซลในภาพ เพื่อให้ทุก ๆ พิกเซลในภาพ
มีขีดจำกัดที่เหมาะสม และยังมีความเร็วในการประมวลผลที่สามารถออกอากาศสดได้ที่ 60 เฟรม
ต่อวินาที สำหรับความละเอียดระดับ Full HD



สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2561

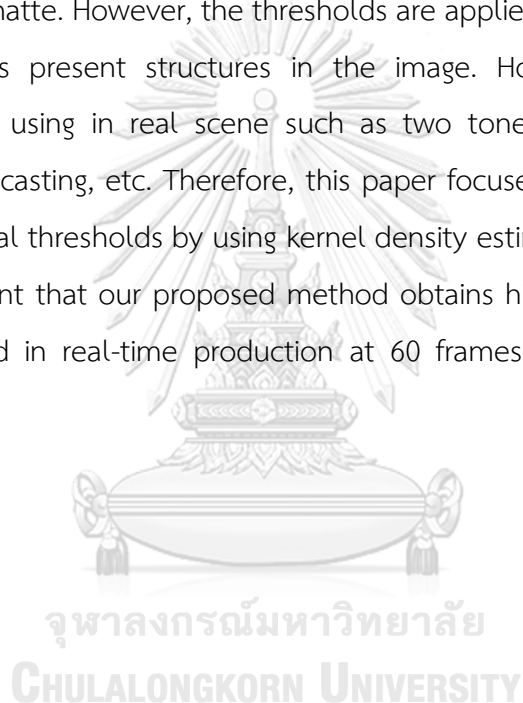
ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970305121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORD: digital image processing, green screen matting, color difference,
kernel density estimation

Warayu Jariyawattanarat : Improving Real-time Uneven Green Screen
Matting. Advisor: Asst. Prof. ATTAWITH SUDSANG, Ph.D.

This research addresses the problem of a color difference method for green screen matting. The conventional color difference method uses two thresholds to control a result matte. However, the thresholds are applied to all pixels in an image which sometimes present structures in the image. However, there are many limitations when using in real scene such as two tone background for camera tracking, shadow casting, etc. Therefore, this paper focuses on changing the global thresholds to local thresholds by using kernel density estimation. The experimental results will present that our proposed method obtains higher quality matte result and can be used in real-time production at 60 frames per second for Full HD resolution.



Field of Study: Computer Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนและส่งเสริมเป็นอย่างดีจาก ผศ. ดร.อรรถวิทย์ สุดแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาทั้งในส่วนของแนวทางในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ รวมถึงข้อแนะนำต่าง ๆ ของงานวิจัยและเรื่องอื่น ๆ นอกเหนือจากงานวิจัยข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. ณ์ฐพงศ์ ชินธเนศ ตลอดจนกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. นัทที นิภานันท์ และ อ. ดร. ธนะธร พ่อคำ ที่ได้กรุณาสละเวลา ตรวจสอบและให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ที่จะขาดเสียมิได้ คือขอขอบคุณเหล่าพี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยระบบอัจฉริยะ ISL2 ทุก ๆ คนที่ช่วยให้คำแนะนำต่าง ๆ ทั้งในเรื่องของงานวิจัยและเรื่องอื่น ๆ รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดามารดา ผู้ให้กำเนิด รวมไปถึงญาติพี่น้องทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พญ. วริษฐา ดารารัตนโรจน์ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณอีกหลาย ๆ ท่านที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ด้วยใจจริง

วราวุธ จริยาวัฒน์รัตน์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.1.1 พื้นหลังเป็นสีเฉพาะ (เขียวหรือน้ำเงิน).....	3
1.1.2 พื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะ	4
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 การนำเสนอและลำดับเนื้อหาวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ปัญหาการแยกฉากหลัง	6
2.2 การแยกฉากหลังโดยพิจารณาจากค่าสี (Chroma key matting).....	7
2.2.1 การแยกค่าสีในปริภูมิ YCbCr ตามแบบของ Ashikhmin	8
2.2.2 การแยกฉากหลังโดยพิจารณาความต่างของค่าสี (color difference)	11
2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างย่อยของสี (Chroma subsampling).....	12
2.4 การกำจัดการเปื้อนของสี (Despill).....	15

บทที่ 3 การทดลองเปรียบเทียบวิธี Color difference และ Chroma key.....	16
3.1 วัตถุประสงค์	16
3.2 สมมติฐาน	17
3.3 ตัวแปรต้น	17
3.4 ตัวแปรควบคุม	17
3.5 อุปกรณ์.....	18
3.6 วิธีการทดลอง	18
3.7 ผลการทดลอง.....	19
3.8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	37
บทที่ 4 การปรับปรุงขั้นตอนวิธี.....	39
4.1 ขั้นตอนวิธีพื้นฐาน	39
4.2 การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล.....	41
4.3 การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่	43
4.4 การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่	44
4.5 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี	45
4.6 การกำหนดค่าเริ่มต้นของค่า t_{min} และ t_{max}	48
4.7 ผังงาน	48
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	50
5.1 การเก็บข้อมูล	50
5.2 การวัดผล.....	50
5.3 การทดลองเปรียบเทียบการใช้การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล	51
บทที่ 6 สรุปการวิจัยและแนวทางการวิจัยในขั้นถัดไป	59
บรรณานุกรม.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	64



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลการวัดเวลาการคำนวณ	19
ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธี Color difference และขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ	55
ตารางที่ 3 ผลการวัดเวลาการคำนวณ	56



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสตูดิโอเสมือนจริง	1
ภาพที่ 2 แสดงปริภูมิสี YCbCr และตำแหน่งของสีหลัก.....	8
ภาพที่ 3 แสดงค่า Kfg จะมีค่าน้อยที่สุดคือบริเวณเส้นแบ่งเขตพื้นที่.....	9
ภาพที่ 4 ค่าความเข้มของฉากที่นำมาซ้อน จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ที่เส้นแบ่งพื้นที่	9
ภาพที่ 5 การกำหนดบริเวณรอบสีหลักเพื่อแก้ปัญหาจุดรบกวน	10
ภาพที่ 6 (a) ภาพที่พิจารณาค่าสีตามแนวเส้นแดง (b) ค่าสี rgb ตามแนวเส้นและการแยกส่วนเป็น foreground-background.....	10
ภาพที่ 7 (a) ภาพที่พิจารณาค่าสีตามแนวเส้นสีแดง (b) ค่าสี rgb ตามแนวเส้นและการแยกส่วนเป็น foreground-background.....	12
ภาพที่ 8 ตัวอย่างการแยกข้อมูลภาพออกเป็นความสว่างและค่าสี.....	13
ภาพที่ 9 วิธีการส่งข้อมูลแบบ scanline	13
ภาพที่ 10 ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบใช้การสุ่มตัวอย่างย่อยของสี ช่องหนึ่งช่องต่อ 1 ข้อมูล.....	14
ภาพที่ 11 ขอบภาพที่ไม่เรียบซึ่งเกิดจากการบีบอัดเพิ่มเติม.....	14
ภาพที่ 12 ตัวอย่างการแก้การปนเปื้อนของสีเขียว.....	15
ภาพที่ 13 รูปข้อมูลนำเข้าอ้างอิงในการทดลอง	16
ภาพที่ 14 แผนภาพแสดงห้องที่ใช้ในการถ่ายทำ.....	18
ภาพที่ 15 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีดำ.....	20
ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีเทา.....	21
ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีขาว.....	22
ภาพที่ 18 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีดำ.....	23
ภาพที่ 19 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีเทา.....	24
ภาพที่ 20 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีขาว.....	25

ภาพที่ 21 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีดำ	26
ภาพที่ 22 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีเทา.....	27
ภาพที่ 23 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีขาว	28
ภาพที่ 24 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีดำ	29
ภาพที่ 25 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีเทา.....	30
ภาพที่ 26 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีขาว	31
ภาพที่ 27 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีดำ.....	32
ภาพที่ 28 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีเทา	33
ภาพที่ 29 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีขาว.....	34
ภาพที่ 30 ฮิสโตแกรมของรูปร่าง.....	35
ภาพที่ 31 ตัวอย่างผลการทดลองจากวิธี Color difference.....	36
ภาพที่ 32 ผลการทดลองจากวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB	36
ภาพที่ 33 ผลการทดลองจากวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV	37
ภาพที่ 34 การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล	41
ภาพที่ 35 ภาพข้อมูลขาเข้าตัวอย่างสำหรับขั้นตอนวิธี KDE	44
ภาพที่ 36 ผลลัพธ์การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่	45
ภาพที่ 37 ผังงานการแยกฉากหลัง.....	49
ภาพที่ 38 รูปการทดลองจากกล้อง VG-NEX30 ในกรณีใส่เสื้อสีดำ, ระยะห่างจากฉากหลัง 80 เซนติเมตร และสภาพแสงไม่สม่ำเสมอ (บน) ภาพจากกล้อง, (กลาง) ขั้นตอนวิธี Color difference, (ล่าง) ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ	57
ภาพที่ 39 รูปเฉพาะส่วนจากทดลองจากกล้อง URSA Mini 4.6K ในกรณีใส่เสื้อสีขาว,	58

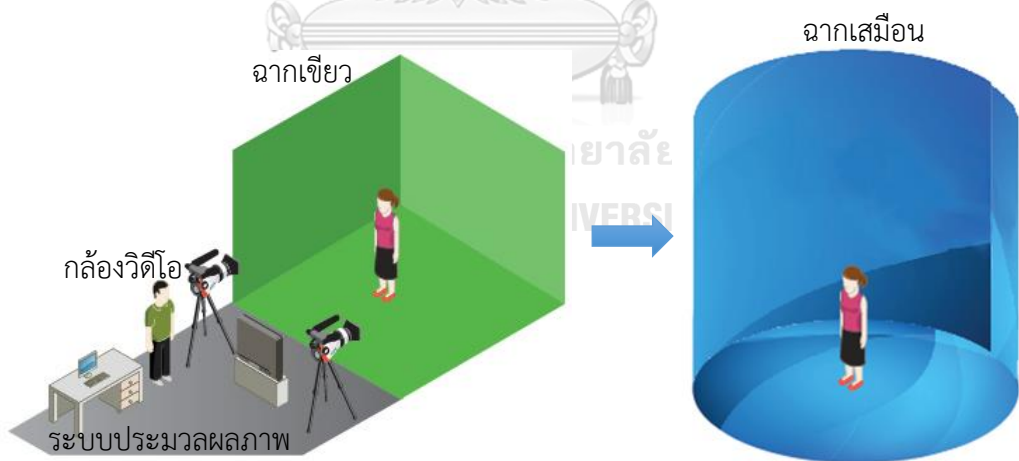
บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้งานแพร่ภาพออกอากาศเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีช่องทางการนำเสนอที่มากขึ้นกว่าแต่ก่อน ไม่ว่าจะเป็น ทีวีดิจิทัล หรือสื่อออนไลน์ต่าง ๆ เช่น เฟสบุ๊ก लाईฟ (Facebook Live) หรือ ยูทูบ लाईฟ (YouTube Live) นำไปสู่การแข่งขันทางด้านเนื้อหา และเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกอากาศ เพื่อดึงดูดผู้ชมให้ได้มากที่สุด

ระบบสตูดิโอเสมือนจริง (virtual studio) จึงเป็นสิ่งที่มักถูกนำมาใช้ในการสร้างสรรค์ ผลิต เนื้อหารายการที่น่าสนใจ และเข้าใจง่าย เนื่องจากระบบสตูดิโอเสมือนจริงสามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพื่อสร้างเอฟเฟค หรือ แบบจำลองต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำในระบบสตูดิโอจริง ได้ หรือถ้าทำได้ต้องใช้เวลาหรือค่าใช้จ่ายสูง

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสตูดิโอเสมือนจริงแสดงในภาพที่ 1 ประกอบไปด้วยกล้องวิดีโอที่ใช้ในการถ่ายทำ ฉากเขียวที่จะถูกตัดออก ฉากเสมือนที่จะใส่เข้าไปแทน และระบบประมวลผลภาพที่จะทำการแยกฉากเขียวแล้วนำคนเข้าไปประกอบกับภาพฉากเสมือน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



ภาพที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสตูดิโอเสมือนจริง

1. แยกคนออกจากฉากเขียว (background subtraction)
2. สังเคราะห์ภาพฉากเสมือนจริงตามตำแหน่งกล้องที่ถูกคำนวณมา (virtual scene)

3. นำภาพคนที่แยกได้มารวมกับภาพฉากเสมือนเพื่อสร้างผลภาพผลลัพธ์สุดท้าย (image composition)

จากขั้นตอนการทำงานของระบบสตูดิโอเสมือนจริง จะเห็นได้ว่าการประมวลผลหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการแยกฉากเขียว ถ้าขั้นตอนนี้สามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง ก็จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่ดีตามไปด้วย นอกจากนี้การแยกฉากเขียวไม่เพียงแต่นำไปใช้กับระบบสตูดิโอเสมือนจริงได้เท่านั้น แต่การแยกฉากเขียวยังสามารถนำไปใช้กับงานซ้อนภาพทั่วไปได้ เช่น การรายงานสภาพอากาศ หรือ การเปิดรายการสั้น ๆ ที่มีการใช้มุมกล้องเพียงมุมเดียว ด้วยประโยชน์ใช้สอยของระบบการแยกฉากเขียวจึงนำมาสู่งานวิจัยนี้ ที่มุ่งเน้นในการผลิตระบบการแยกฉากเขียวที่มีประสิทธิภาพทัดเทียมหรือดีกว่าระบบที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาด

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

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่จะใช้ในการแยกคนออกจากฉากหลัง โดยฉากหลังที่สนใจคือฉากหลังที่มีสีเขียวเป็นหลักเนื่องจากการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจะมีความสามารถในการแยกฉากสีเขียวได้หลายโทน มีความทนทานต่อสภาพแสงและมีความทนทานต่อการถูกรบกวนของภาพจากกล้องวิดีโอ และมีความมีประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งานแบบทันทีได้

1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแยกฉากหลังแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ตามลักษณะของพื้นหลัง คือ การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะ และ การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะ ความแตกต่างระหว่างงานทั้งสองฝั่ง คือ การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะจะมีความรู้ก่อนหน้าแล้วว่าสีที่ต้องถูกตัดออกควรเป็นสีใด เช่น สีเขียว หรือ สีน้ำเงิน ในขณะที่การแยกฉากหลังบนพื้น

หลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะต้องอาศัยการระบุว่าเป็นบริเวณใดจะเป็นฉากหลังและในบริเวณไหนที่เป็นวัตถุ
ด้านหน้า ทำให้การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบที่ไม่ใช้สี
เฉพาะ อย่างไรก็ตามระบบที่พื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะจะมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่ครอบคลุม
กว่า กล่าวคือ ในกรณีที่พื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะ แต่มีความไม่สม่ำเสมอของสี เช่น ในสภาพแสงที่ไม่
สามารถจัดให้พื้นหลังนั้นมีสีเท่า ๆ กันได้ รวมถึงการถูกแสงสีต่าง ๆ สาดลงบนพื้นหลังนั้น ๆ หรือการ
มองผ่านกระจก สีของฉากหลังที่เป็นสีเฉพาะก็อาจจะมีความต่างสีเกิดขึ้นมา แต่รวม ๆ แล้วก็ยังอยู่ใน
โทนสีเดียวกัน แต่สามารถมองได้เป็นประเภทของฉากหลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะ งานวิจัยนี้จึงให้
ความสำคัญกับทฤษฎีทั้งสองส่วน

1.1.1 พื้นหลังเป็นสีเฉพาะ (เขียวหรือน้ำเงิน)

ขั้นตอนวิธีที่ใช้สีเขียวเป็นสีพื้นถูกสรุปไว้ใน [1] โดย 2 วิธีหลัก ๆ คือ Chroma key และ
Color difference ซึ่งสองวิธีนี้ถือเป็นพื้นฐานของซอฟต์แวร์และระบบตัดฉากเขียวที่ใช้กันอย่าง
แพร่หลายในปัจจุบัน เช่น Keylight ในโปรแกรม After Effects ระบบ Primatte หรือ ระบบ
Ultimatte [2] เป็นต้น สองวิธีนี้ใช้การคำนวณที่ต่างกันคือ chromakey ใช้การหยาบสีเขียวมาหนึ่งสี
เป็นสีอ้างอิง ค่าความทึบ (alpha) ถูกคำนวณจากระยะห่างระหว่างค่าสีที่จุดนั้น ๆ กับสีอ้างอิงใน
ปริภูมิสีใด ๆ ค่าสีที่ใกล้สีอ้างอิงมาก ๆ จะมีค่าความทึบต่ำหรือเป็นสีฉากหลังนั่นเอง สำหรับจุดที่มีค่า
สีต่างจากสีอ้างอิงจะมีค่าความทึบสูงหรือเป็นวัตถุด้านหน้า

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

เมื่อ α_i คือ ค่าความโปร่งแสง

C_r คือ ค่าสีอ้างอิง

C_i คือ ค่าสีที่จุด i

ในขณะที่ color difference ใช้หลักการของปริภูมิสี RGB โดยมองที่ความต่างระหว่างสีเขียว
กับค่าสีที่มากที่สุดระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน ค่าความต่างของช่องสีแปรผกผันกับค่าความทึบ นั่นคือ
ความต่างมากสีเขียวมากกว่ามากควรที่จะถูกจัดเป็นฉากหลัง ความต่างน้อยสีเขียวไม่โดดเด่นควรที่จะ
ถูกจัดเป็นวัตถุด้านหน้า

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

1.1.2 พื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะ

งานวิจัยในหมวดนี้มักจะถูกเรียกว่า alpha matting คือการหาค่าความทึบจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่จุดนั้น ๆ กับค่าสีที่เป็นพื้นหน้าและค่าสีที่เป็นพื้นหลัง โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้คือสีที่จุดนั้น ๆ เกิดจากผลรวมเชิงเส้นของสีพื้นหน้าและสีพื้นหลัง

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

เมื่อ F_i คือ ค่าสีพื้นหน้าที่จุด i

B_i คือ ค่าสีพื้นหลังที่จุด i

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่ไม่รู้ค่าทั้งหมด 3 ตัว ได้แก่ α_i , F_i และ B_i และมีจำนวนสมการน้อยกว่าจำนวนตัวแปรมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มข้อจำกัดด้วยข้อมูลบางส่วนนั่นคือ ส่วนที่เป็นพื้นหน้า (foreground) ส่วนที่เป็นพื้นหลัง (background) คือส่วนที่ระบุ (known) และส่วนที่ไม่ระบุ (unknown) หรือเรียกรวมว่าไตรแมพ (trimap) งานวิจัยในหมวดนี้ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ วิธีการแพร่กระจาย และวิธีการสุ่มค่าสี

วิธีการสุ่มค่าสีใช้การหีบเซตของค่าสีพื้นหน้าและสีพื้นหลังจากส่วนที่ระบุ หลังจากนั้นจะคัดเลือกสีพื้นหน้า F_i และสีพื้นหลัง B_i ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละจุดเพื่อนำมาประมาณค่าความทึบ α_i ด้วยสมการ

$$\alpha_i = \frac{(C_i - B_i)(F_i - B_i)}{\|F_i - B_i\|^2}$$

งานวิจัยในกลุ่มนี้จะมีความแตกต่างกันที่วิธีการหีบเซตของค่าสีพื้นหน้าและสีพื้นหลัง มีงานวิจัยที่เสนอวิธีการหีบเซตของค่าสีจากเพื่อนบ้านที่อยู่บริเวณขอบของส่วนที่ระบุ [3] งานวิจัยใช้วิธีการยิงรังสีจากจุดนั้น ๆ ในทิศทางต่าง ๆ ไปยังส่วนที่ระบุเพื่อหีบค่าสีพื้นหน้าและพื้นหลัง [4, 5] งานวิจัยที่เลือกหีบเซตของค่าสีจากทุกจุดที่เป็นขอบของส่วนที่ระบุ [6] งานวิจัยที่เสนอวิธีการหีบเซตของค่าสีจาก Gaussian mixture model ที่ถูกสร้างขึ้นตามระยะห่างระหว่างจุดนั้นกับส่วนที่ระบุ [7] จะเห็นได้ว่าเฉพาะคู่ของ (F_i, B_i) ที่ดีที่สุดคู่เดียวถูกนำมาคำนวณหาค่า α_i ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะทำการแยกฉากหลังได้ดีในกรณีที่ F_i และ B_i มีสีใกล้เคียงกัน หรือในกรณีที่การสุ่มไม่สามารถครอบคลุมความสัมพันธ์ระหว่างจุดสี ค่าสีพื้นหน้าและค่าสีพื้นหลัง การสร้างตัวแบบจำลองเฉพาะที่ของสีพื้นหน้าและพื้นหลังจึงถูกนำมาแก้ปัญหาเหล่านี้

การเรียนรู้ที่ได้รับคำแนะนำ (supervised learning) จึงได้ถูกนำมาใช้ใน โดยการใช้การถดถอย
 ซัพพอร์ตเวกเตอร์ (support vector regression) เพื่อเรียนรู้ตัวแบบจำลองสำหรับส่วนที่ระบุและ
 ทำนายค่าความถี่จากตัวแบบจำลอง [8] มีงานวิจัยที่ใช้หลักการนี้ทำการสร้างตัวแบบจำลองใน
 รูปแบบพจนานุกรมของส่วนที่ระบุด้วยการเข้ารหัสกระจาย (sparse coding) [9, 10] ความแตกต่าง
 ระหว่างสองงานนี้คือ แบบแรกใช้จุดสีในหน้าต่างที่มีขนาดคงที่ [9] แต่แบบหลังมีการปรับขนาดของ
 หน้าต่างตามความมั่นใจของค่าความถี่ในการสร้างพจนานุกรม [10] นอกจากนี้ยังต่างกันในเรื่องของ
 ใช้สัดส่วนระหว่าง นอร์ม l_2 ของรหัสกระจายสำหรับสีพื้นหน้า และผลรวมของนอร์ม นอร์ม l_2 ของ
 รหัสกระจายสำหรับสีพื้นหน้าและพื้นหลังเพื่อคำนวณค่าความถี่ [9] ในขณะที่แบบหลังใช้ผลรวม
 ของรหัสกระจายเพื่อคำนวณหาค่าความถี่โดยตรง [10]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการแยกฉากหลังสีเขียวมีอยู่ ให้มีความสามารถในการแยกฉากหลังที่
 เป็นสีเขียวได้หลายโทน มีความทนทานต่อสภาพแสงและการถูกรบกวน ของภาพจากกล้องวิดีโอ และ
 มีประสิทธิภาพในด้านเวลาที่เพียงพอสำหรับการใช้งานแบบทันทีได้

1.3 การนำเสนอและลำดับเนื้อหาวิทยานิพนธ์

การนำเสนอเนื้อหาวิทยานิพนธ์ในส่วนที่เหลือจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วน
 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง, ส่วนแนวคิดของงานวิจัยและขั้นตอนการแก้ปัญหา และ ส่วนการทดลอง
 เปรียบเทียบ และสรุปผล

1. ส่วนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะอธิบายถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปที่ใช้ในการแก้ปัญหาใน
 ปัจจุบันจะอยู่ในบทที่ 2
2. ส่วนแนวคิดของงานวิจัยและขั้นตอนการแก้ปัญหาจะอยู่ในบทที่ 3 และ 4 เริ่มจากการ
 ทหาระเบียบวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุง และขั้นตอนวิธีการปรับปรุง ตามลำดับ
3. ส่วนการทดลอง เปรียบเทียบ และสรุปผล จะอยู่ในบทที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกฉากหลังแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ตามลักษณะของพื้นหลัง คือ การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะ และการแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะ ความแตกต่างระหว่างงานทั้งสองฝั่ง คือ การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะจะมีความรู้ก่อนหน้าแล้วว่าสีที่ต้องถูกตัดออกควรเป็นสีใด เช่น สีเขียว หรือ สีน้ำเงิน ในขณะที่การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะต้องอาศัยการระบุว่าเป็นบริเวณใดจะเป็นฉากหลังและในบริเวณไหนที่เป็นวัตถุด้านหน้า ทำให้การแยกฉากหลังบนพื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบที่ไม่ใช่สีเฉพาะ อย่างไรก็ตามระบบที่พื้นหลังไม่เป็นสีเฉพาะจะมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่ครอบคลุมกว่า กล่าวคือ ในกรณีที่พื้นหลังที่เป็นสีเฉพาะ แต่มีความไม่สม่ำเสมอของสี เช่น ในสภาพแสงที่ไม่สามารถจัดให้พื้นหลังนั้นมีสีเท่า ๆ กันได้ รวมถึงการถูกแสงสีต่าง ๆ สาดลงบนพื้นหลังนั้น ๆ หรือการมองผ่านกระจก สีของฉากหลังที่เป็นสีเฉพาะก็อาจจะมีสีเกิดขึ้นมา แต่รวม ๆ แล้วก็ยังคงอยู่ในโทนสีเดียวกัน แต่สามารถมองได้เป็นประเภทของฉากหลังที่ไม่เป็นสีเฉพาะ งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับทฤษฎีทั้งสองส่วน

2.1 ปัญหาการแยกฉากหลัง

การแยกฉากหลังนั้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหา “การคำนวณหาค่าความโปร่งใส” 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 α_i , F_i และ B_i ซึ่งจำนวนสมการน้อยกว่าจำนวนตัวแปรมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มข้อจำกัดด้วยข้อมูลบางส่วนนั่นคือ ส่วนที่เป็นพื้นหน้า ส่วนที่เป็นพื้นหลังคือส่วนที่ระบุ (known) และส่วนที่ไม่ระบุ (unknown) หรือเรียกรวมว่าไตรแมพ (trimap)

ในงานวิจัยชิ้นนี้ การแยกฉากหลังนั้นจะใช้ข้อมูลเริ่มต้นคือการที่เราทราบว่าฉากหลังนั้นเป็นสีเขียว โดยขั้นตอนวิธีในการแยกฉากหลังจะคำนวณค่า α_i ที่เหมาะสมในแต่ละจุดภาพ เมื่อเราได้ค่า

α_i มาแล้ว เราจะสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการสร้างภาพผลลัพธ์ที่ต้องการได้ จาก F_i ซึ่งก็คือภาพข้อมูลนำเข้าจากกล้อง และใช้ภาพฉากหลังที่ต้องการซ้อนเข้าไป เป็นค่า B_i แทน

2.2 การแยกฉากหลังโดยพิจารณาจากค่าสี (Chroma key matting)

การพิจารณาค่าสีคือการแยกภาพของวัตถุเบื้องหน้าที่สนใจออกจากฉากหลัง และนำภาพที่ได้ไปรวมเข้ากับภาพกราฟิกที่เตรียมไว้ ซึ่งปัญหาหลักสองประการที่ต้องให้ความสนใจในการพิจารณาค่าสี คือ การลบรอยหยักบริเวณขอบเพื่อให้กลืนเข้ากับภาพที่นำมารวมเข้าด้วยกันพร้อมทั้งการแก้การเบือนของสี และปัญหาการจัดการกับสีที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งมีผู้เสนอวิธีแก้ไขปัญหาไว้หลากหลายวิธี เช่น การใช้สีหลักแบบเชิงเส้น (Linear keying) [2] ใช้ในอุปกรณ์ Ultimatte Memory Head ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์, การคำนวณจากรูปทรงแปดเหลี่ยมในปริภูมิสีแบบ RGB [11], การคำนวณโดยอาศัยข้อมูลจากจุดที่อยู่ใกล้เคียง แล้ววิเคราะห์โดยใช้ความน่าจะเป็นแบบของเบย์ (Bayesian matting) [12] หรือวิธีของ Ashikhmin [13] ที่ใช้การวิเคราะห์แบบที่ละจุดอย่างอิสระต่อกันบนปริภูมิสีแบบ YCbCr

การพิจารณาเลือกวิธีที่จะนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ นอกจากจะดูจากคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้ ยังต้องคำนึงถึงความเร็วในการทำงานด้วย [3] ได้แบ่งวิธีการทำการพิจารณาค่าสี ออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ sampling based และ affinity โดย sampling-based จะทำงาน โดยอาศัยข้อมูลที่เรียกว่า tri-map ในการแบ่งพื้นที่ในภาพออกเป็นวัตถุที่แน่นอน, ฉากหลังที่แน่นอน และบริเวณที่ไม่ทราบ หลังจากนั้นจะประมาณส่วนที่ไม่ทราบ จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มวัตถุ และกลุ่มฉากหลัง การทำ sampling-based จะทำได้ดีเมื่อฉากหลังมีความซับซ้อนน้อย เช่น พื้นหลังเป็นฉากสีเขียว ในขณะที่แบบ affinity จะทำการประมาณส่วนที่ไม่ทราบโดยการสังเกตและหารูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพใด ๆ กับบริเวณรอบเล็ก ๆ รอบ ๆ [12, 14] แม้วิธีนี้จะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ออกมาดูกลมกลืน แต่ก็ไม่สามารถจัดการกับภาพที่มีส่วนประกอบที่มีลักษณะยาวได้

ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่พยายามผนวกรวม matting ทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกัน เช่น [3] และ [4] หากกลุ่มตัวอย่างจากลากเส้นออกไปในทิศทางต่าง ๆ และกลุ่มตัวอย่างจะได้จากจุดสีของวัตถุและจุดสีของฉากหลัง ที่ใกล้ที่สุดของทุกเส้น โดย [7] ได้ปรับปรุงวิธีการจาก [4] โดยเพิ่มการถ่วงน้ำหนักจากที่ได้จากการนำลักษณะเด่น (feature) ของสีและพื้นผิว (texture) มาคำนวณ

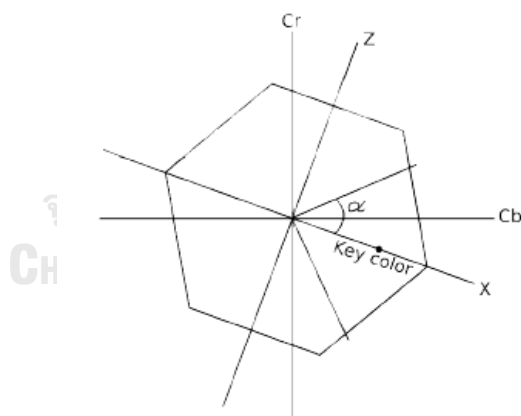
ขั้นตอนทั่วไปของการพิจารณาค่าสี ทำได้โดยการกำหนดสีหลักซึ่งเป็นสีที่ต้องการจะลบทิ้ง และทำการคำนวณค่าความโปร่งใสของผลลัพธ์ให้สัมพันธ์กับความต่างกับสีหลักนี้ ซึ่งการคำนวณค่าความต่างนี้จะแตกต่างกันไปตามแต่ละขั้นตอนวิธี รวมถึงจะเกี่ยวข้องกับปริภูมิสีที่เลือกใช้ด้วย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการแยกค่าสีแบบต่าง ๆ ที่ได้เคยมีมาแล้วในอดีต

2.2.1 การแยกค่าสีในปริภูมิ YCbCr ตามแบบของ Ashikhmin

วิธีพิจารณาค่าสีตามแบบของ Ashikhmin [13] เป็นพื้นฐาน เป็นวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพดีพอสมควร การทำงานของวิธีพิจารณาค่าสีตามแบบของ Ashikhmin นั้นจะทำงานบนปริภูมิสีแบบ YCbCr และการทำงานบนปริภูมิสี YCbCr ยังมีข้อได้เปรียบคือ เป็นปริภูมิสีที่อุปกรณ์ถ่ายภาพใช้ส่งผ่านข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการแปลงค่าให้อยู่ในปริภูมิสีอื่นอีก นอกจากนี้การพิจารณาค่าสีของแต่ละจุดจะทำแยกจากกันแบบอิสระ ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการทำงานด้วยการประมวลผลแบบขนานได้ง่าย

สำหรับขั้นตอนวิธีนี้ ใช้การกำหนดมุมอัลฟา (alpha) ในปริภูมิสีแบบ YCbCr เป็นตัวประมาณค่าจากสีที่เลือกมาใช้เป็นสีหลัก โดยพิจารณาจากตำแหน่งของสีหลักในแกนพิกัดของ Cb และ Cr หมุนเป็นพิกัดในแนวแกน XZ โดยให้สีหลักตกลงบนแกน X พอดี แล้วพิจารณาจากพื้นที่ที่อยู่ในขอบเขตของมุมที่ใช้ในการประมาณ (ปกติจะใช้ค่ามุมไม่เกิน 90 องศา) เส้นที่ทำให้เกิดมุมอัลฟานี้ จะแบ่งปริภูมิสีออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่ภาพเบื้องหน้า ไม่ถูกแทนที่ด้วยฉากหลังและส่วนที่ภาพเบื้องหน้าถูกแทนที่ด้วยฉากหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังในภาพที่ 2

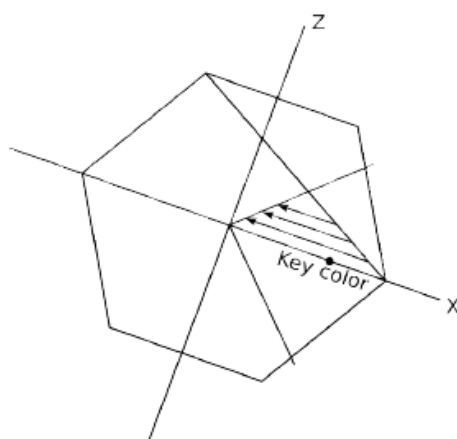


ภาพที่ 2 แสดงปริภูมิสี YCbCr และตำแหน่งของสีหลัก

การหาสัดส่วนของการที่ภาพเบื้องหน้าถูกแทนที่ด้วยฉากหลัง ทำได้โดยใช้การเปรียบเทียบ โดยให้สีที่อยู่บนแกน X มีการถูกแทนที่มากที่สุด คือวัตถุด้านหน้าจะถูกแทนที่ด้วยฉากหลังโดยสมบูรณ์ และสัดส่วนการแทนที่จะลดหลั่นลงไป ตามสมการ

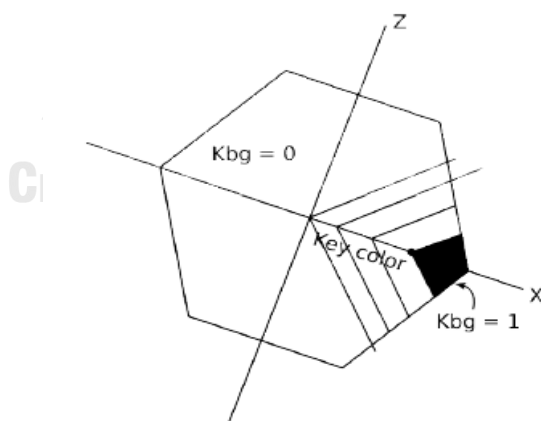
$$Kfg = X - \frac{\text{abs}(Z)}{\tan(\text{alpha})}$$

ซึ่งจะได้ว่า สีที่มีค่าใกล้เคียงกับสีหลักจะมีค่า K_{fg} สูง ทำให้มีสัดส่วนการแทนที่สูงไปด้วย ดัง ปริภูมิสีในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงค่า K_{fg} จะมีค่าน้อยที่สุดคือบริเวณเส้นแบ่งเขตพื้นที่

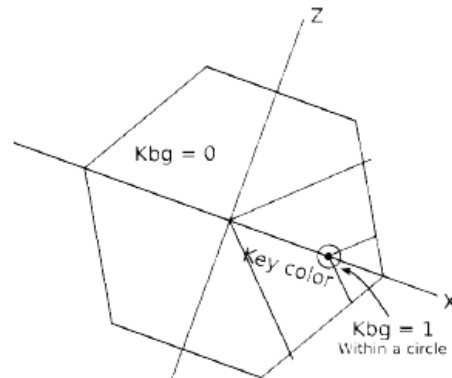
การหาความเข้มของฉากที่นำมาซ้อนในแต่ละจุด หาได้โดยกำหนดให้จุดสีหลักมีความเข้มสูงสุด คือ 1 ($K_{bg} = 1$) และลดลงเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณขอบของเส้นแบ่งพื้นที่ ให้มีความเข้มเป็น 0 ($K_{bg} = 0$) ถ้าหากสีของฉากที่นำมาซ้อนมีความใกล้เคียงกับสีหลักมาก จะทำให้บริเวณนั้นมีสัดส่วนของภาพฉากที่นำมาซ้อนมากกว่าภาพวัตถุด้านหน้า ดังปริภูมิสีในภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5



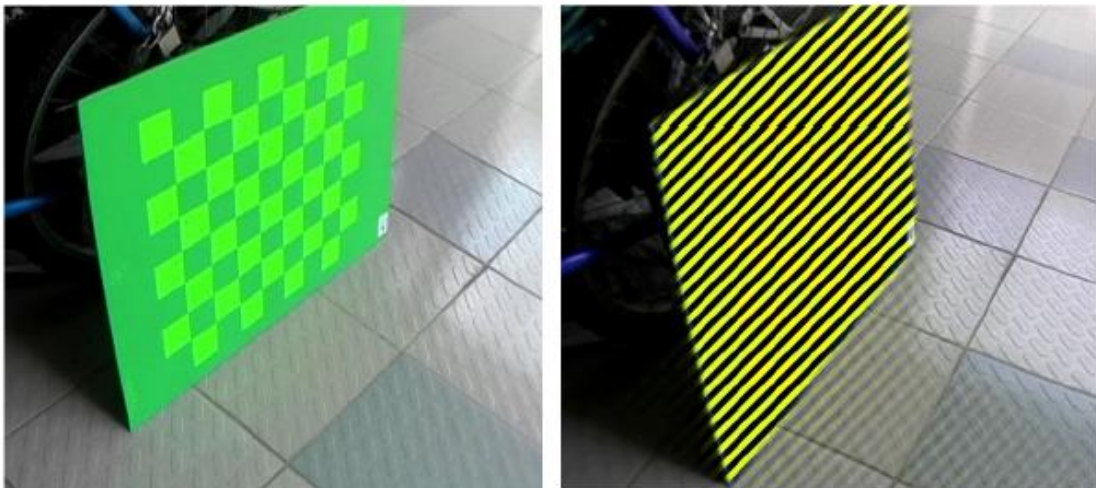
ภาพที่ 4 ค่าความเข้มของฉากที่นำมาซ้อน จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ที่เส้นแบ่งพื้นที่

ในการใช้งานจริง ภาพที่ได้จากกล้องอาจมีจุดรบกวน (noise) โดยมีสาเหตุจากภาพที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงของสีตลอดเวลา ถึงแม้จะมีความเปลี่ยนแปลงน้อย แต่ก็อาจมีผลกับผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหานี้ จะใช้วิธีกำหนดบริเวณรอบสีหลักในปริภูมิสี และให้ภายในบริเวณนั้นมีความเข้มใน

การนำฉากมาซ้อนเท่ากับสีหลัก ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของภาพเล็กน้อย ไม่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์มาก ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีนี้ ดูได้จากภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การกำหนดบริเวณรอบสีหลักเพื่อแก้ปัญหาจุดรบกวน



ภาพที่ 6 (a) ภาพที่พิจารณาค่าสีตามแนวเส้นแดง (b) ค่าสี rgb ตามแนวเส้นและการแยกส่วนเป็น foreground-background

ในการใช้งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวกับการแยกภาพ (matting) ในปัจจุบันมักจะเน้นที่การแก้ปัญหาในกรณีทั่วไป เช่นการยอมให้พื้นหลังไม่ต้องเป็นสีเดียว ให้เป็นภาพใด ๆ ก็ได้ [3] หรือการยอมให้มีการเคลื่อนกล้องจนเกิดความไม่ชัดของภาพ (blurring) เป็นอย่างมาก [15] หรือแม้แต่การ

ยอมให้มีความไม่ชัดจากการโฟกัสภาพที่ไม่ถูกต้อง [16] กรรมวิธีที่คิดค้นขึ้นภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะมีความคล่องตัวทำให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่ผลลัพธ์ที่ได้มักมีคุณภาพไม่เพียงพอสำหรับการใช้ในการผลิตรายการ หรืออาจไม่สามารถให้ผลลัพธ์แบบทันการณตามต้องการ

2.2.2 การแยกฉากหลังโดยพิจารณาความต่างของค่าสี (color difference)

เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพยอมรับได้ ในโครงการนี้จึงพิจารณาขั้นตอนวิธีสำหรับการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ด้วย (ตามสภาพแวดล้อมจริงของห้องอัดรายการ) โดยหลักใหญ่คือการใช้พื้นหลังเป็นระนาบเรียบสีเดียว (อาจยอมให้มีความเข้มอ่อนต่างกันได้) และการจัดแสงที่ทั่วถึง วิธีที่เราจะเลือกพิจารณาคือการแยกภาพจากความต่างสี (color difference matting) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติ [1] ขั้นตอนวิธีที่ได้มีการสรุปไว้ใน [1] ซึ่งได้แก่ขั้นตอนวิธี Chroma key และ Color difference

ซึ่งสองวิธีนี้ถือเป็นพื้นฐานของซอฟต์แวร์และระบบตัดฉากเขียวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น Keylight ในโปรแกรม After Effects ระบบ Primatte หรือ ระบบ Ultimatte เป็นต้น สองวิธีนี้ใช้การคำนวณที่ต่างกันคือ Chroma key ใช้การหีบสีเขียวมาหนึ่งสีเป็นสีอ้างอิง ค่าความทึบ (alpha) ถูกคำนวณจากระยะห่างระหว่างค่าสีที่จุดนั้น ๆ กับสีอ้างอิงในปริภูมิสีใด ๆ ค่าสีที่ใกล้เคียงสีอ้างอิงมาก ๆ จะมีค่าความทึบต่ำหรือเป็นสีฉากหลังนั่นเอง สำหรับจุดที่มีค่าสีต่างจากสีอ้างอิงจะมีค่าความทึบสูงหรือเป็นวัตถุด้านหน้า

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

เมื่อ α_i คือ ค่าความทึบ

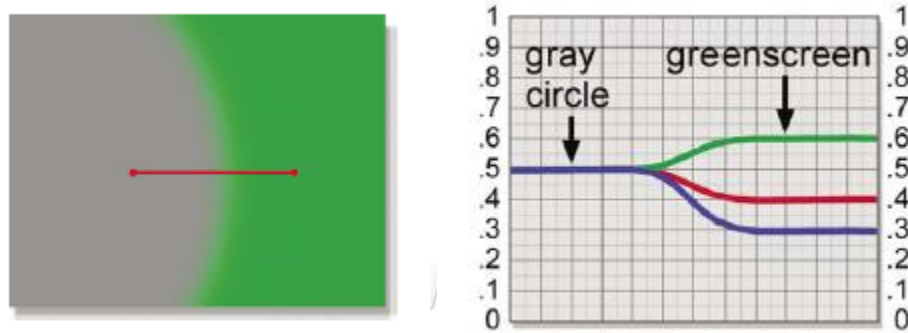
C_r คือ ค่าสีอ้างอิง

C_i คือ ค่าสีที่จุดนั้น ๆ

ในขณะที่ Color difference ใช้หลักการของปริภูมิสี RGB โดยมองที่ความต่างระหว่างสีเขียวกับค่าสีที่มากที่สุดระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน ค่าความต่างของช่องสีแปรผกผันกับค่าความทึบ นั่นคือความต่างมากสีเขียวมากกว่ามากควรที่จะถูกจัดเป็นฉากหลัง ความต่างน้อยสีเขียวน้อยไม่โดดเด่นควรที่จะถูกจัดเป็นวัตถุด้านหน้า

โดยวิธีนี้จะคำนวณค่าสีใน RGB color space โดยมีหลักการพื้นฐานคือการพิจารณาให้จุดที่มีค่าสีเขียว (ซึ่งเป็นสีฉากหลัง) สูงกว่าค่าสีแดงและค่าสีน้ำเงิน ตามอัตราส่วนที่ตั้งไว้ว่าเป็นจุด background วิธีแยกภาพจากความต่างสีนี้ ถึงแม้จะทำงานได้รวดเร็ว และให้คุณภาพผลลัพธ์ใน

เกณฑ์ดี แต่หากจะทำให้มีคุณภาพดีเยี่ยมขึ้น ต้องอาศัยการเทคนิคเพิ่มเติมอีกมาก ซึ่งไม่เป็นที่เปิดเผย ในวงการวิจัย บางส่วนเป็นความลับทางการค้าของผู้ผลิตอุปกรณ์แยกภาพ บางส่วนเป็นเทคนิคที่รู้จักกัน ในหมู่นักปฏิบัติ



ภาพที่ 7 (a) ภาพที่พิจารณาค่าสีตามแนวเส้นสีแดง (b) ค่าสี rgb ตามแนวเส้นและการแยกส่วนเป็น foreground-background

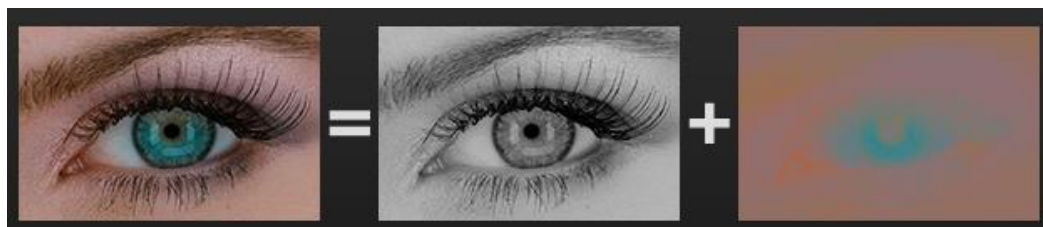
จากภาพที่ 7 ขั้นตอนวิธี Color difference ใช้หลักการของปริภูมิสี RGB โดยมองที่ความต่างระหว่างสีเขียวกับค่าสีที่มากที่สุดระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน ค่าความต่างของช่องสีแปรผกผันกับค่าความทึบ นั่นคือความต่างมากสีเขียวมากกว่ามากควรที่จะถูกจัดเป็นฉากหลัง ความต่างน้อยสีเขียวไม่โดดเด่นควรที่จะถูกจัดเป็นวัตถุด้านหน้า โดยมีสมการสำหรับคำนวณค่า α_i ดังต่อไปนี้ เมื่อให้ $C_{i,R}$ $C_{i,G}$ และ $C_{i,B}$ คือค่าสี แดง, เขียว, น้ำเงินของจุดสี i

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

2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างย่อยของสี (Chroma subsampling)

จะเห็นได้ว่าค่าของสีในรูปนั้นมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของผลลัพธ์ในการพิจารณาค่าสี การที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีนั้น เราจะต้องเข้าใจถึงวิธีการเก็บข้อมูลและการส่งข้อมูลของกล้องวิดีโอด้วย จากความรู้ทางด้านการมองเห็นของคนนั้น เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าการมองเห็นของมนุษย์นั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง สูงกว่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเป็นอย่างมาก ข้อเท็จจริงดังกล่าวเป็นสิ่งที่กำหนดแนวทางของการบีบอัดข้อมูลสัญญาณภาพ ข้อมูลสัญญาณภาพที่ใช้กันทั่วไปในการถ่ายทำรายการนั้นจะประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนค่าความสว่าง (Luminosity) กับส่วนค่าสี (Chroma) ดังที่เห็นได้จากปริภูมิสีแบบ LUV หรือ YCbCr ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในการถ่ายทำรายการ เมื่อเราแยกสัญญาณภาพออกเป็นสองส่วนแล้ว ข้อมูลส่วนที่เป็นสีนั้นจะถูกลดความละเอียดลง ผ่านวิธีการที่เรียกว่าการสุ่มตัวอย่างย่อยของสี (Chroma Subsampling) ซึ่ง

ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นใช้ความกว้างของการส่งสัญญาณ (signal bandwidth) ลดลงโดยที่คุณภาพของภาพนั้นยังคงอยู่ หรือทำให้สามารถเพิ่มความละเอียดของสัญญาณส่วนความสว่างได้ โดยที่ยังใช้ความกว้างของการส่งสัญญาณเท่าเดิม



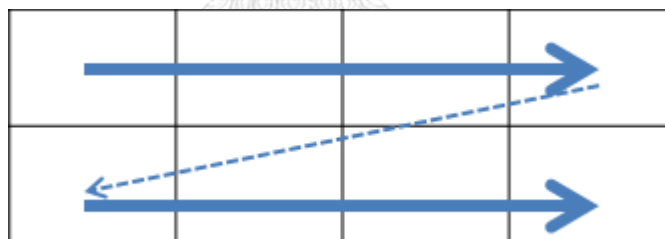
ภาพจริง

ข้อมูลความสว่าง

ข้อมูลสี

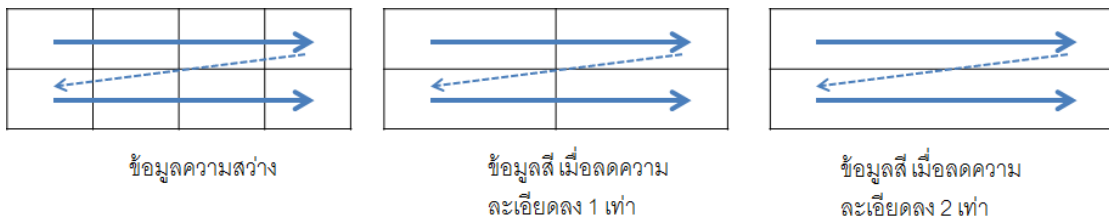
ภาพที่ 8 ตัวอย่างการแยกข้อมูลภาพออกเป็นความสว่างและค่าสี

การสุ่มตัวอย่างย่อยของสีนั้นกระทำกันในระดับของการส่งสัญญาณ โดยสัญญาณภาพที่ส่งมานั้นจะส่งมาแบบ scanline progressive ในแนวนอน กล่าวคือสัญญาณนั้นจะส่งมาเป็นเส้นภาพในแนวนอนทีละเส้น โดยที่แต่ละเส้นจะส่งจากซ้ายไปขวา รูปต่อไปนี้แสดงถึงการส่งสัญญาณภาพขนาด 4 x 2 จุดแบบ scanline



ภาพที่ 9 วิธีการส่งข้อมูลแบบ scanline

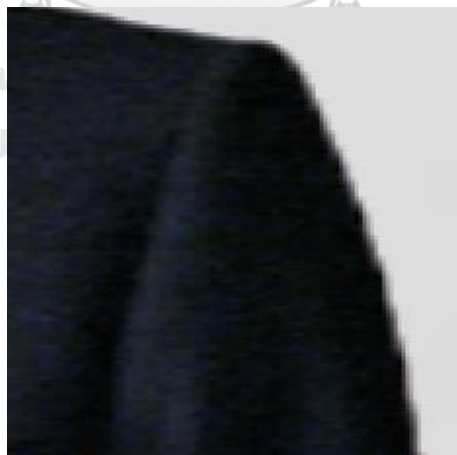
อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างย่อยของสีแล้วนั้น ข้อมูลที่ส่งมาจะถูกแยกเป็นสองส่วน โดยข้อมูลส่วนค่าความสว่างนั้นจะมีการส่งมาตามปรกติตั้งภาพที่แล้ว แต่ข้อมูลสีนั้นจะมีการลดข้อมูลที่ส่งมาลง ทำให้ความละเอียดของสีลดลง ดังภาพที่ 10 **Error! Reference source not found.** โดยรูปด้านซ้ายคือข้อมูลความสว่าง ส่วนรูปตรงกลางคือข้อมูลสี เมื่อลดความละเอียดลงหนึ่งเท่า หรือที่ใช้สัญลักษณ์ว่าเป็นการสุ่มตัวอย่างย่อยของสีแบบ 4:2:2 ส่วนรูปด้านขวาเป็นข้อมูลสีเมื่อลดความละเอียดลงสองเท่า (แบบ 4:1:1) รายละเอียดใน [17]



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบใช้การสุ่มตัวอย่างย่อยของสี ช่องหนึ่งช่องต่อ 1 ข้อมูล

กล้องวิดีโอโดยทั่วไปนั้นจะมีการใช้การสุ่มตัวอย่างย่อยของสีในการส่งสัญญาณ ยกเว้นกล้องวิดีโอคุณภาพสูงมากเท่านั้นที่จะไม่มีการลดความละเอียดลงเลย (subsampling 4:4:4) การลดความละเอียดของข้อมูลสีนั้น ถึงแม้จะสังเกตได้ยากด้วยสายตาคนดู แต่จะส่งผลกระทบต่อการพิจารณาค่าสี เนื่องจากข้อมูลสีนั้นลดลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแยกภาพโดยพิจารณาสีของฉากหลังเป็นหลักจะได้รับข้อมูลที่มีรายละเอียดลดลง อาจทำให้การแยกภาพมีคุณภาพต่ำลงตามไปด้วย

ในปัจจุบันกล้องที่มีคุณภาพเพียงพอสำหรับถ่ายทำรายการส่วนใหญ่มี subsampling 4:2:2 และส่งสัญญาณสดเข้าระบบผ่านการเชื่อมต่อแบบ SDI (serial digital interface) ทำให้ได้สัญญาณแบบ 4:2:2 โดยไม่มีการบีบอัดเพิ่มเติม แต่หากต้องประมวลผลจากการบันทึกไว้ล่วงหน้า ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการบีบอัดเพิ่มเติมที่ต้องพิจารณาด้วย เช่นการใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่ของภาพจากหลายเฟรมในมาตรฐานฟอร์แมตวิดีโอแบบ mpeg-4 avc [17] ซึ่งการบีบอัดที่เพิ่มขึ้นนี้ก็จะทำให้เกิดความซับซ้อนในการพิจารณาว่าจุดใดเป็นฉากหลัง ทำให้การแยกภาพมีความยุ่งยากมากขึ้นมาก

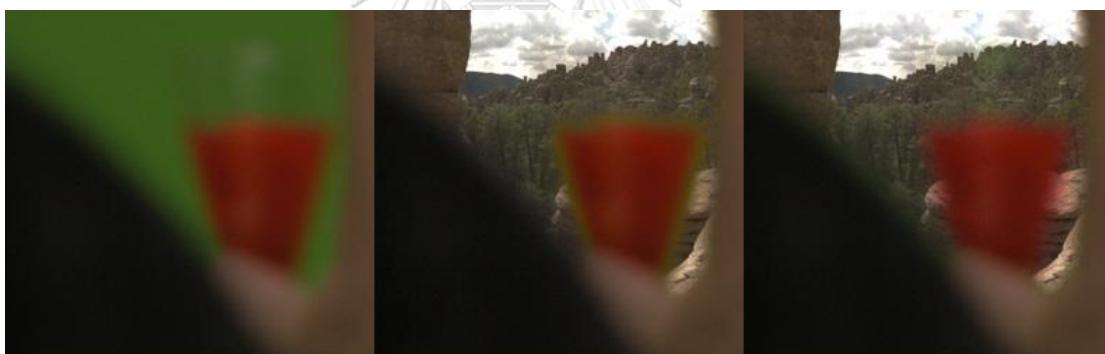


ภาพที่ 11 ขอบภาพที่ไม่เรียบซึ่งเกิดจากการบีบอัดเพิ่มเติม

2.4 การกำจัดการเปื้อนของสี (Despill)

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว ภาพที่ได้จากการถ่ายทำในห้องถ่ายทำที่มีฉากสีเขียวอยู่จะมีปัญหาของการเปื้อนสี (color spilling) คือการที่สีของฉากเขียวนั้นสะท้อนไปกระทบบนตัววัตถุที่สนใจ ทำให้บริเวณขอบของวัตถุมีสีเขียวปนเปื้อนมาด้วย การปนเปื้อนนี้จะทำให้วัตถุมืดที่ไม่สมจริง วิธีการกำจัดการปนเปื้อนนี้นั้นมีหลายวิธี เช่น การจำกัดสีเขียวด้วยสีแดง (green limited by red) หรือ การจำกัดสีเขียวด้วยสีน้ำเงิน (green limited by blue) ซึ่งจะเป็นการจำกัดไม่ให้จุดที่ต้องการแก้การปนเปื้อนของสีนั้นมีค่าสีเขียวไม่เกินค่าสีน้ำเงินหรือสีแดง หรือวิธีการใช้ค่าเฉลี่ยของสีแดงและสีน้ำเงิน ดังสมการต่อไปนี้ เมื่อกำหนดให้ R, G, B แทนค่าของสีต่าง ๆ และ G^* คือค่าของสีเขียว หลังจากการปรับแก้แล้ว

$$G^* = \begin{cases} \text{average}(R, B) & \text{เมื่อ } G > \text{average}(R, B) \\ G & \text{เมื่อ } G \leq \text{average}(R, B) \end{cases}$$



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการแก้การปนเปื้อนของสีเขียว

ในการกำจัดการปนเปื้อนสีเขียว มีข้อควรระวังคือการไม่ทำให้สีของภาพส่วนที่ไม่เปื้อนสีเขียว เปลี่ยนไปมากเกินไป เนื่องจากการกำจัดการเปื้อนเป็นการจำกัดปริมาณสีเขียวในภาพ จึงทำให้สีเขียวในส่วนอื่น ๆ ที่ไม่มีการเปื้อนมีค่าลดลง และอาจเกิดเป็นภาพที่มีสีเพี้ยนไม่สมจริงได้ แต่การแยกภาพโดยทั่วไปนั้นไม่มีข้อมูลว่าภาพส่วนใดจะมีโอกาสได้รับการเปื้อนสีเขียวมากหรือน้อย ทำให้การกำจัดการเปื้อนเป็นไปได้ไม่ดีนัก ในการถ่ายทำที่ต้องการควบคุมคุณภาพเรื่องสี บางครั้งจึงมีการแก้ปัญหา ระหว่างการถ่ายทำโดยฉายแสงสีม่วงเพื่อลบสีเขียวที่ปนเปื้อนออกไปตั้งแต่ต้นทาง [18]

บทที่ 3

การทดลองเปรียบเทียบวิธี Color difference และ Chroma key

การทดลองในบทนี้จะทำการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีจากหมวดที่ใช้พื้นหลังเป็นสีเฉพาะ ได้จำนวน 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ใช้เทคนิค Color difference ที่ใช้สีเขียวเป็นสีหลัก วิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB วิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV และ วิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV รูปอ้างอิงที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 13

จากการทดลองนั้น ผลที่ได้คือขั้นตอนวิธี Color difference ให้ผลที่ดีที่สุด



ภาพที่ 13 รูปข้อมูลนำเข้าอ้างอิงในการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญในการทำการแยกฉากหลังเพื่อใช้ในการวางแผนในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างสำหรับการทดลองในลำดับถัดไป
2. เพื่อคัดเลือกระเบียบวิธีแยกฉากหลังที่จะนำไปต่อยอด การทดลองในรายงานฉบับนี้จะใช้ 4 วิธีโดยเป็นวิธีจากหมวดที่ใช้พื้นหลังเป็นสีเฉพาะ โดยเป็นวิธีที่ใช้เทคนิค Color difference ที่ใช้สีเขียวเป็นสีหลัก Chroma key ในปริภูมิสี RGB Chroma key ในปริภูมิสี HSV และ Chroma key ในปริภูมิสี YUV

3.2 สมมติฐาน

1. ระยะห่างจากฉากหลังเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแยกฉากหลัง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนระยะห่าง ผลของการแยกฉากหลังจะได้ผลที่ต่างกัน โดยระยะห่างมากจะได้ผลที่ดีกว่า
2. ระดับความสว่างเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแยกฉากหลัง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างผลของการแยกฉากหลังจะได้ผลที่ต่างกัน โดยความสว่างที่มากเกินไปและต่ำเกินไปจะได้ผลที่แย่กว่าความสว่างที่ถูกจัดโดยผู้เชี่ยวชาญ
3. สีเสื้อเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแยกฉากหลัง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีเสื้อผลของการแยกฉากหลังจะได้ผลที่ต่างกัน โดยสีเสื้อที่มีความเข้มจะได้ผลที่ดีกว่า
4. ความเคลื่อนไหวส่งผลต่อการแยกฉากหลัง โดยส่วนที่มีความเคลื่อนไหวจะถูกมองเป็นส่วนที่โปร่งแสง
5. วิธี Color difference วิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV และวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB อย่างเห็นได้ชัดจากการสังเกตด้วยตา

3.3 ตัวแปรต้น

1. ระยะห่างจากฉากหลัง
2. ระดับความสว่าง
3. สีเสื้อ
4. การเคลื่อนไหว
5. ระเบียบวิธี

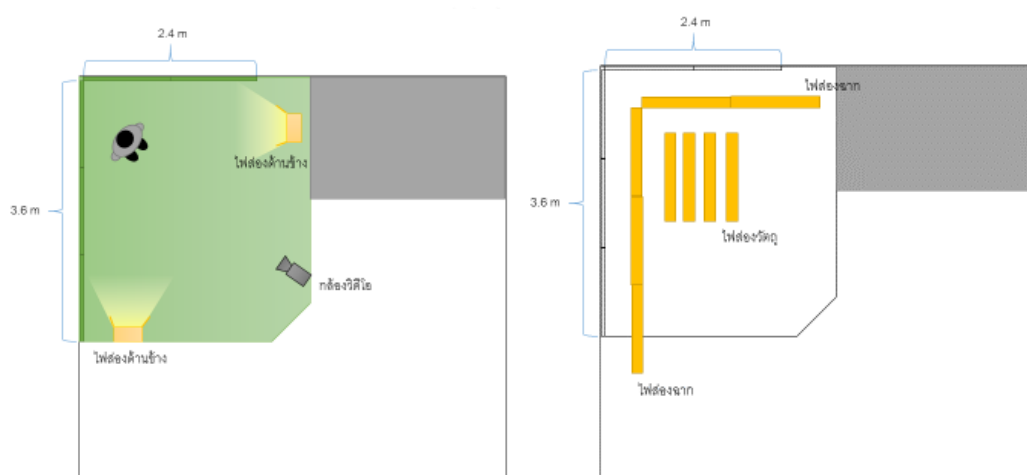
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4 ตัวแปรควบคุม

1. ตำแหน่งอุปกรณ์ทั้งหมด คือ ฉากหลัง กล้องวิดีโอ ไฟส่องสว่าง ถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่งเดิมตลอดการทดลอง
2. ขนาดของลำดับภาพจากกล้องคือ 1920 x 1080 ที่ความถี่ 50i ค่าไวท์บาลานซ์ (white balance) ที่ 5000k และความเร็วของชัตเตอร์อยู่ที่ 100
3. ตัวแปรทางการคำนวณสำหรับแต่ละระเบียบวิธีถูกจัดให้ดีที่สุดโดยผู้เชี่ยวชาญสำหรับระยะห่างจากฉากหลัง 90 เซนติเมตร ระดับความสว่างที่ถูกจัดโดยผู้เชี่ยวชาญ สีเสื้อสีเทา ไม่มีความเคลื่อนไหว

3.5 อุปกรณ์

1. ห้องถ่ายทำชั่วคราว ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 14 **Error! Reference source not found.**
2. ฉากสีเขียวที่มีความต่างของระดับสีเขียว
3. หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์สีขาว 30 ดวง เป็นไฟส่องสว่างด้านข้าง 14 ดวง และไฟบนเพดาน 16 ดวง
4. กล้องวิดีโอ Sony NEX-VG30



ภาพที่ 14 แผนภาพแสดงห้องที่ใช้ในการถ่ายทำ

3.6 วิธีการทดลอง

1. เก็บลำดับของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากฉากหลังคือ 30, 90 และ 150 เซนติเมตร ที่ระดับความสว่างที่ถูกจัดโดยผู้เชี่ยวชาญ
2. เก็บลำดับของภาพที่ลดระดับความสว่างด้วยการปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จากแผงไฟส่องสว่างด้านข้าง 6 ดวงและ 14 ดวง โดยเก็บลำดับภาพเฉพาะที่ตำแหน่ง 90 เซนติเมตร
3. เก็บลำดับของภาพที่มีความเคลื่อนไหวที่ระดับความสว่างที่ถูกจัดโดยผู้เชี่ยวชาญ ณ ตำแหน่ง 90 เซนติเมตรจากฉากหลัง
4. เก็บลำดับของภาพตามหัวข้อ 1 – 3 โดยเปลี่ยนสีเสื้อ 3 สี คือ ดำ เทา และขาว

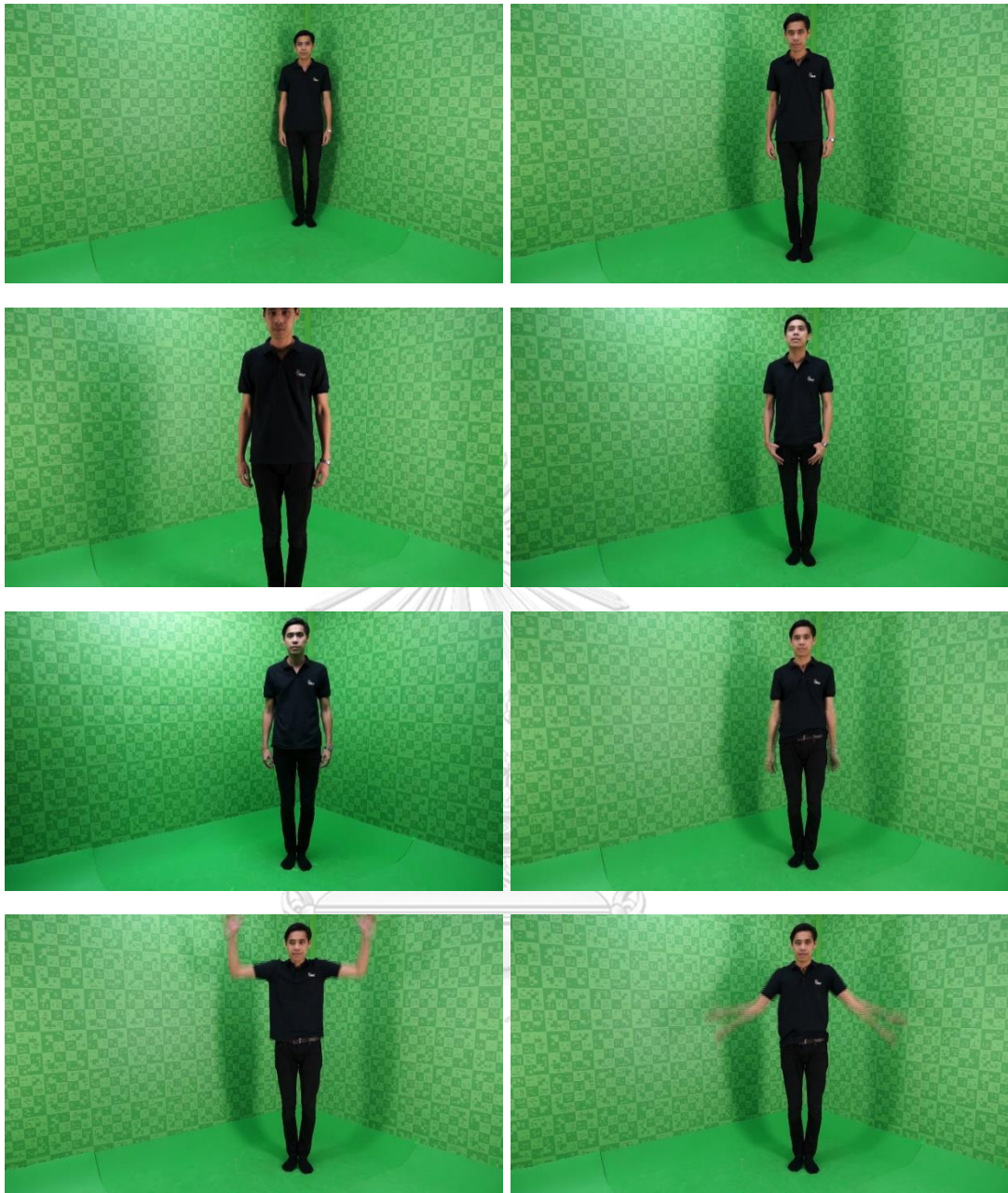
3.7 ผลการทดลอง

การทดลองทำบนลำดับภาพชุดเดียวกันทั้งหมดสำหรับทุกระเบียบวิธี โดยผลลัพธ์ที่นำมาแสดงเป็นเฟรมที่ถูกตัดจากลำดับภาพที่ลำดับเฟรมเดียวกันดังแสดงในนี้ เรียงตามลำดับวิธีการเก็บภาพตั้งที่กล่าวไว้ข้างต้นโดยภาพที่มีความเคลื่อนไหวใช้จำนวน 3 ภาพ ภาษาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทดลองคือ C++ ไบเบรารีหลักที่ใช้คือ DirectCompute เครื่องที่ใช้ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางความเร็ว 3.4 GHz หน่วยความจำ 8 GB หน่วยประมวลผลกราฟิก NVIDIA GeForce GTX 780 ผลการทดลองจากทุกระเบียบวิธีแสดงในนี้ โดยการวัดผลการทดลองควรระวังจากการเปรียบเทียบกับผลการตัดฉากหลังด้วยมืออย่างละเอียด อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ปรากฏสามารถวัดได้จากสายตาดูขอละเอียดการวัดผลอย่างละเอียดในรายงานฉบับนี้ เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 100 เฟรมแสดงใน **Error! Reference source not found.** ซึ่งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระเบียบวิธี

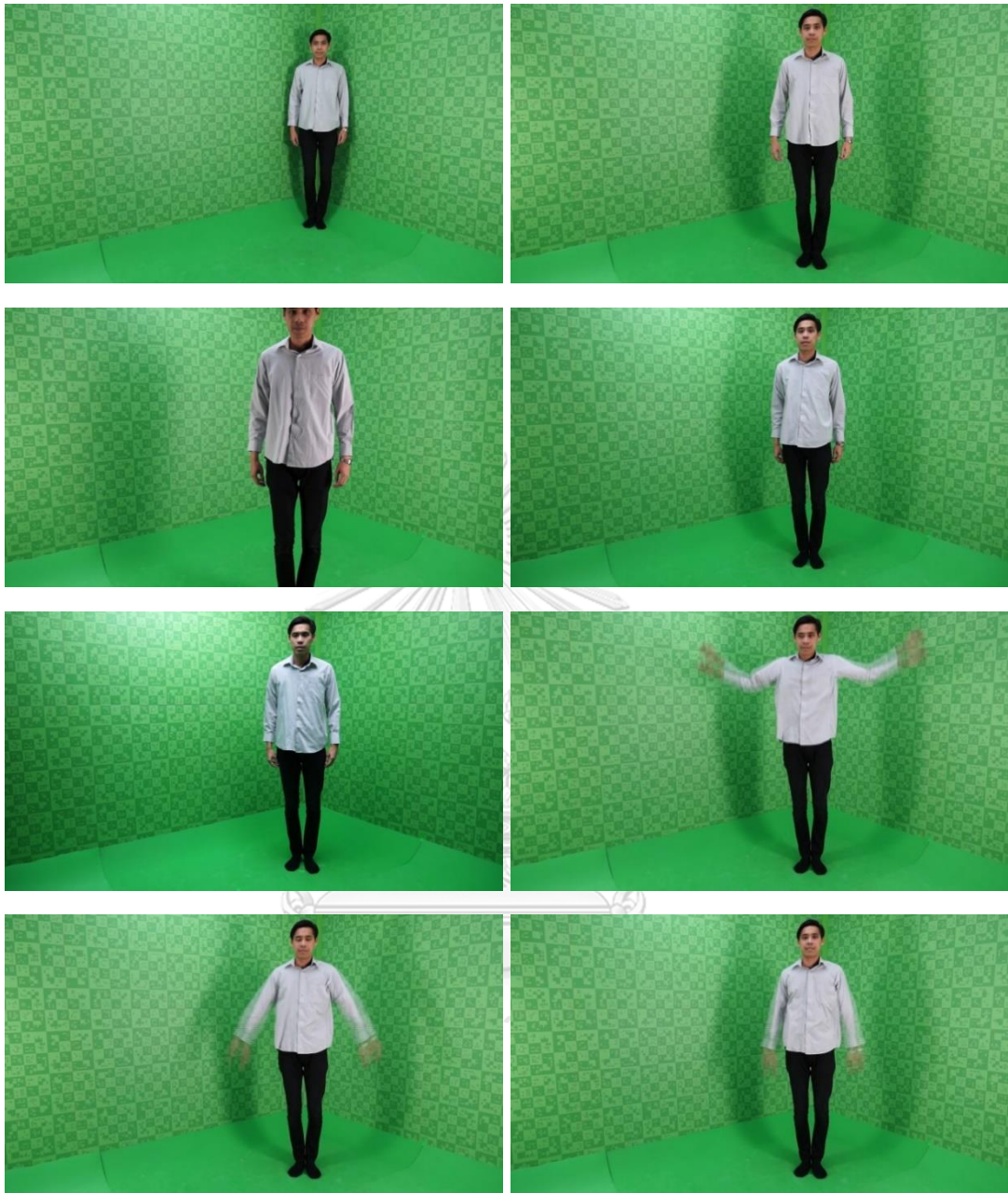
ตารางที่ 1 ผลการวัดเวลาการคำนวณ

ระเบียบวิธี	Color difference	Chroma key in RGB	Chroma key in HSV	Chroma key in YUV
เวลา (มิลลิวินาที)	0.12	0.13	0.15	0.14

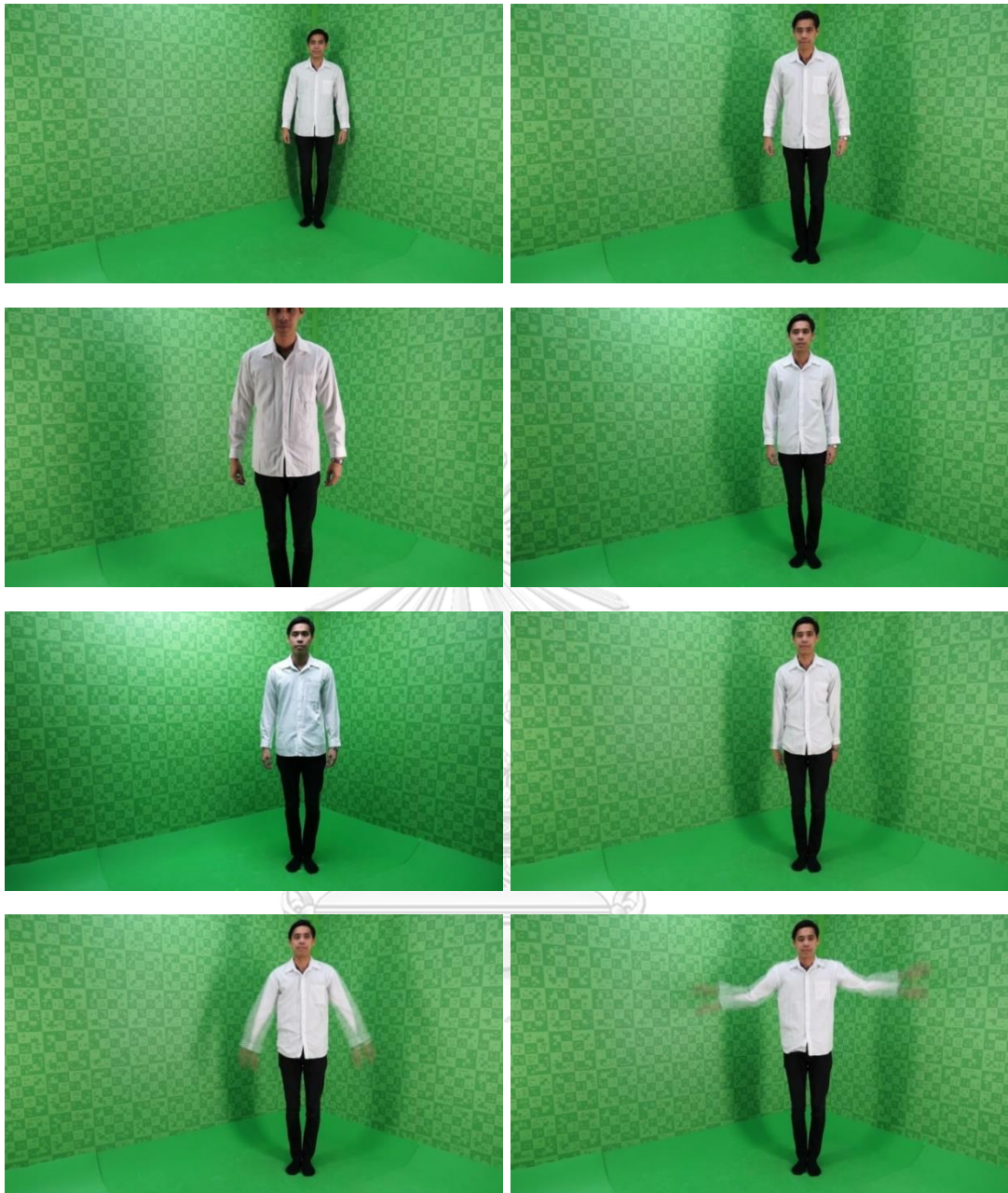
การทดลองเปรียบเทียบวิธี Color difference และ Chroma key ซึ่งจะแสดงถึงภาพเฟรมตัวอย่างและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง



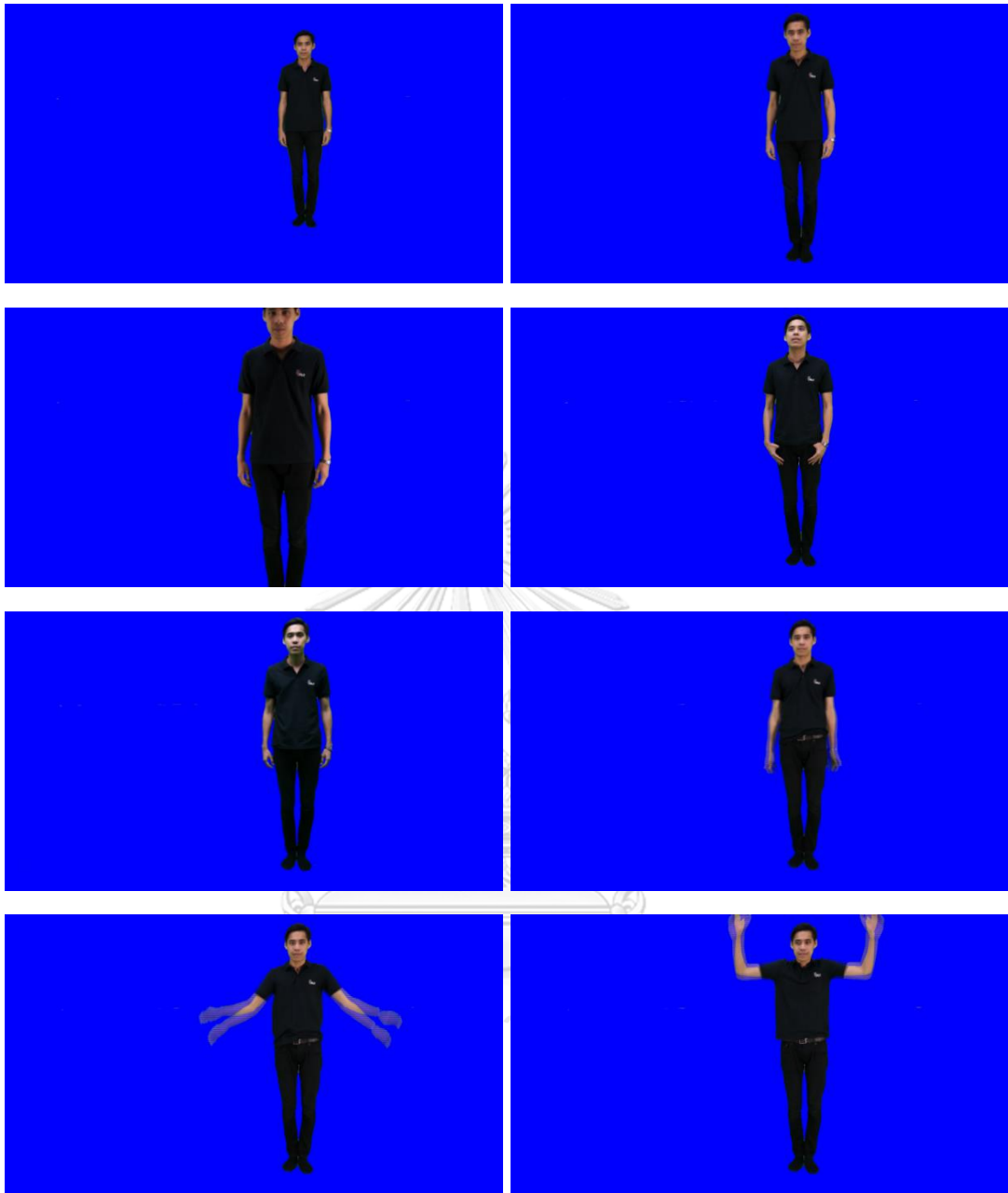
ภาพที่ 15 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีดำ



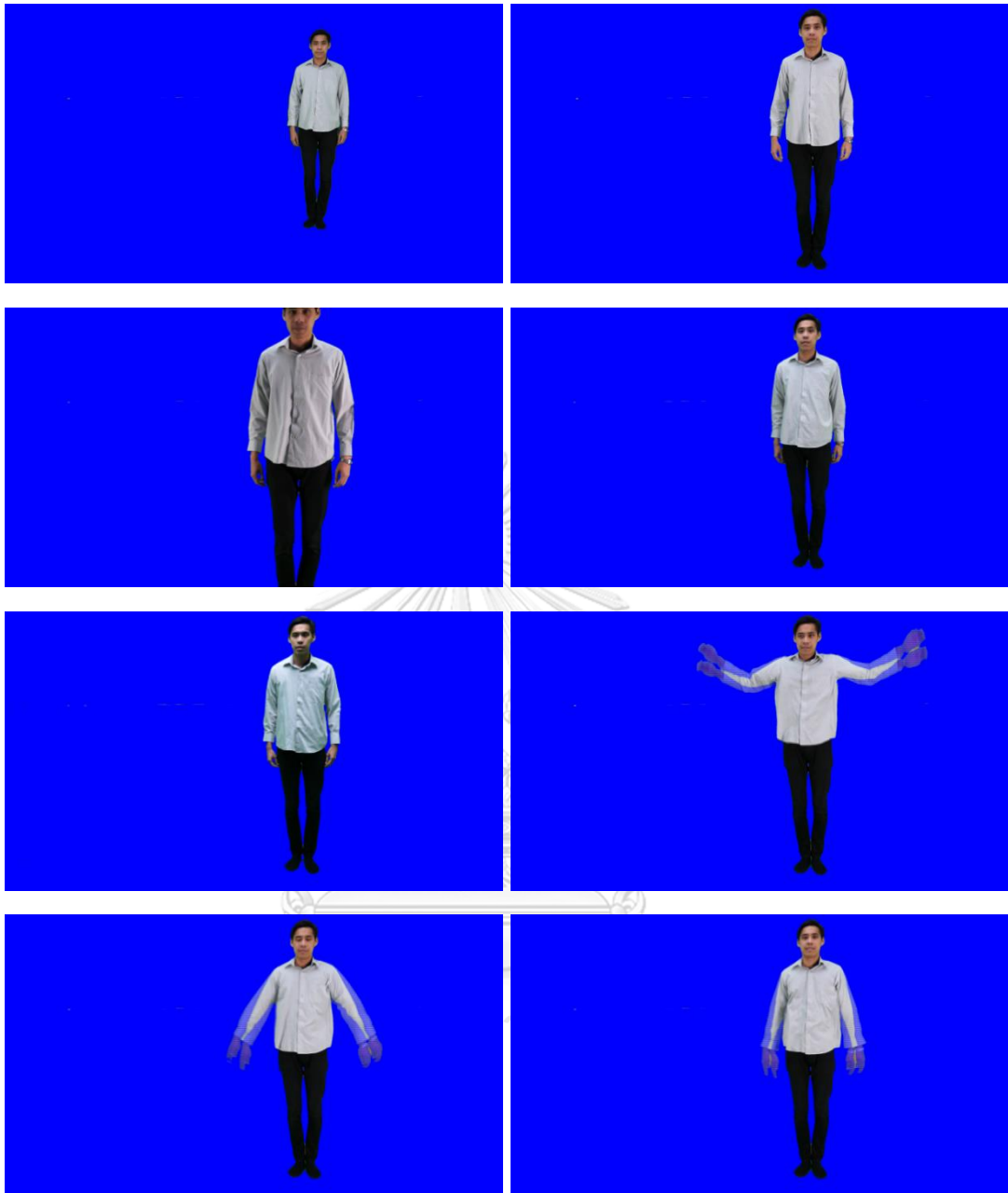
ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีเทา



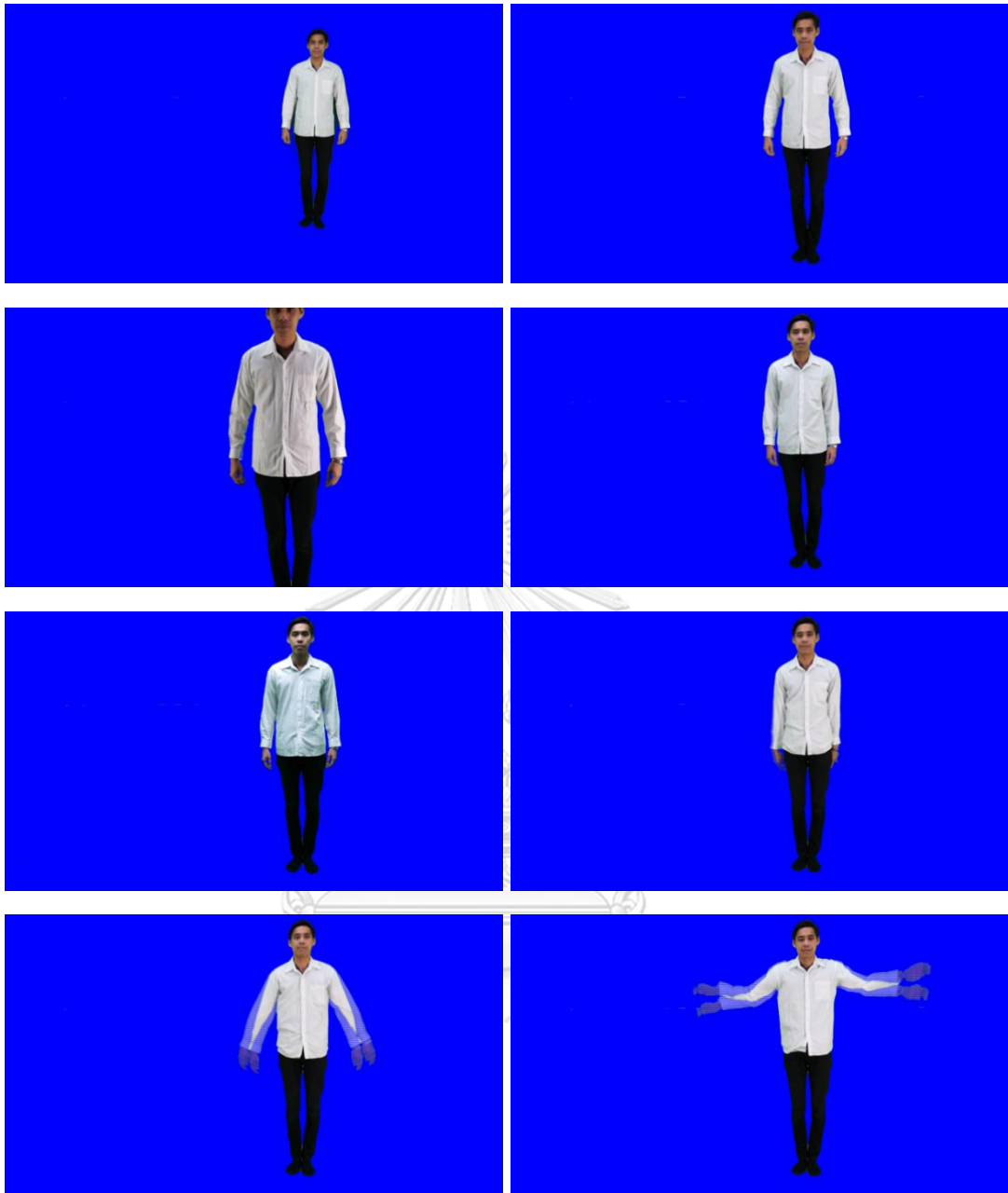
ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพนำเข้าเมื่อใส่เสื้อสีขาว



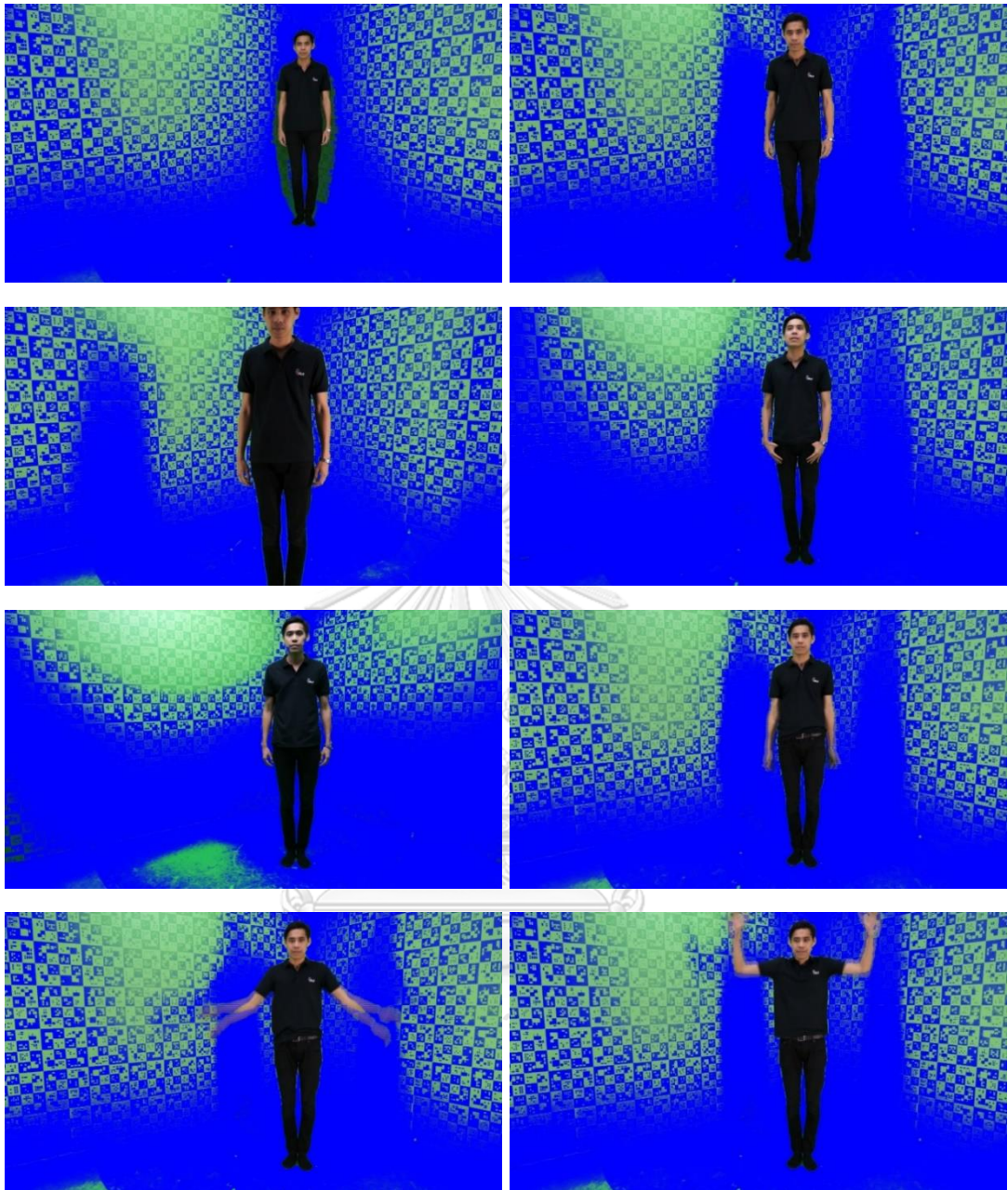
ภาพที่ 18 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีดำ



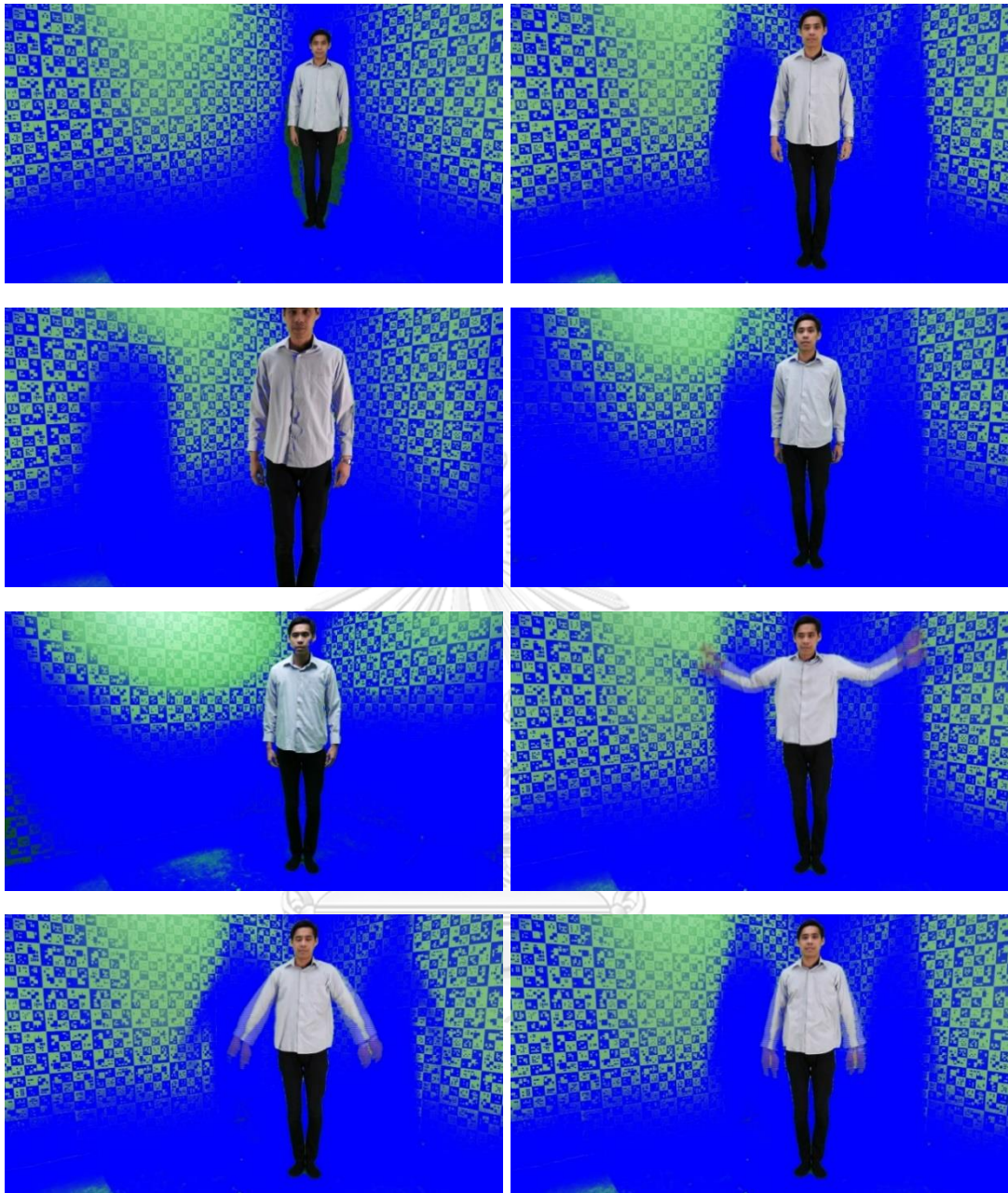
ภาพที่ 19 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีเทา



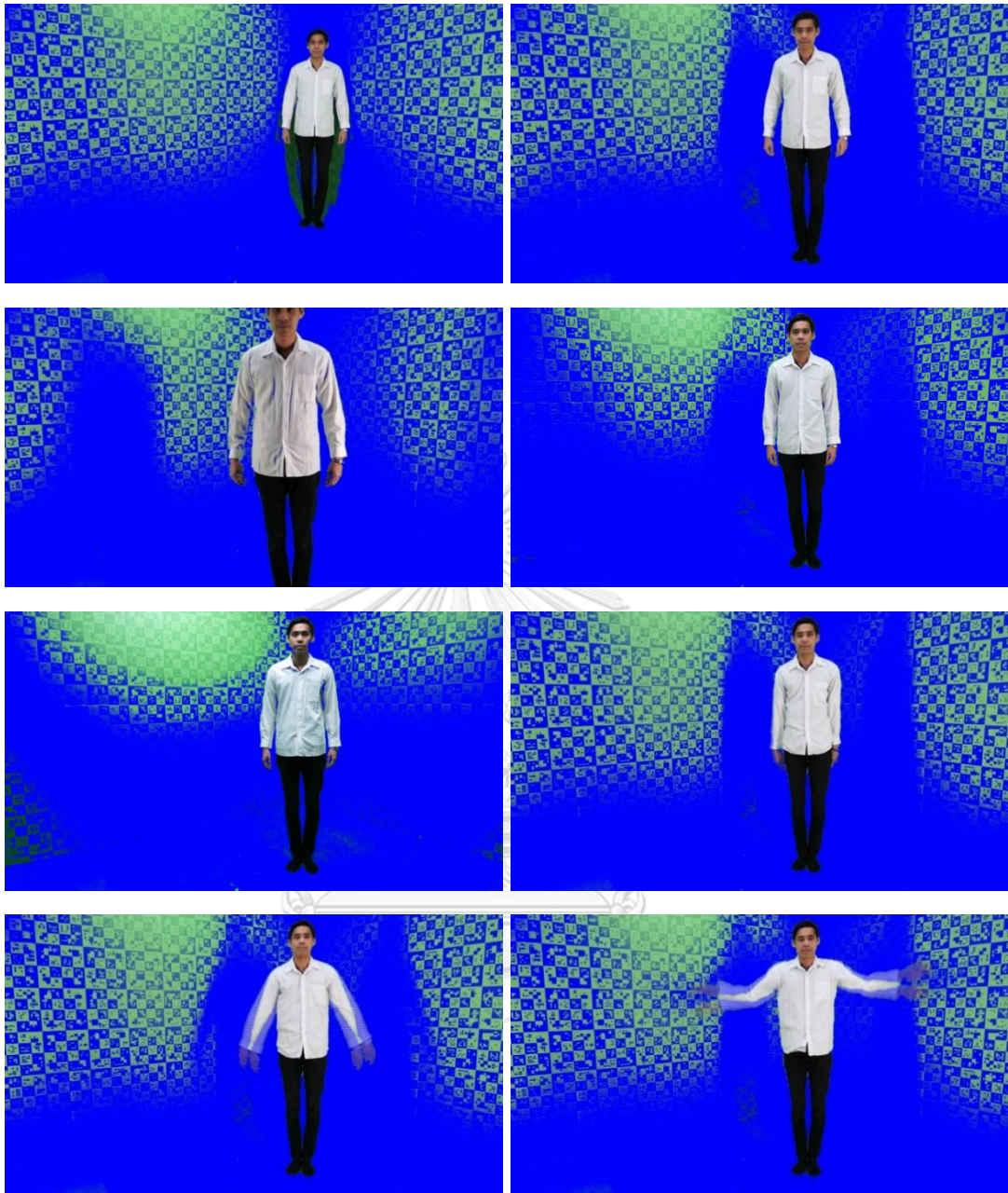
ภาพที่ 20 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Color difference เมื่อใส่เสื้อสีขาว



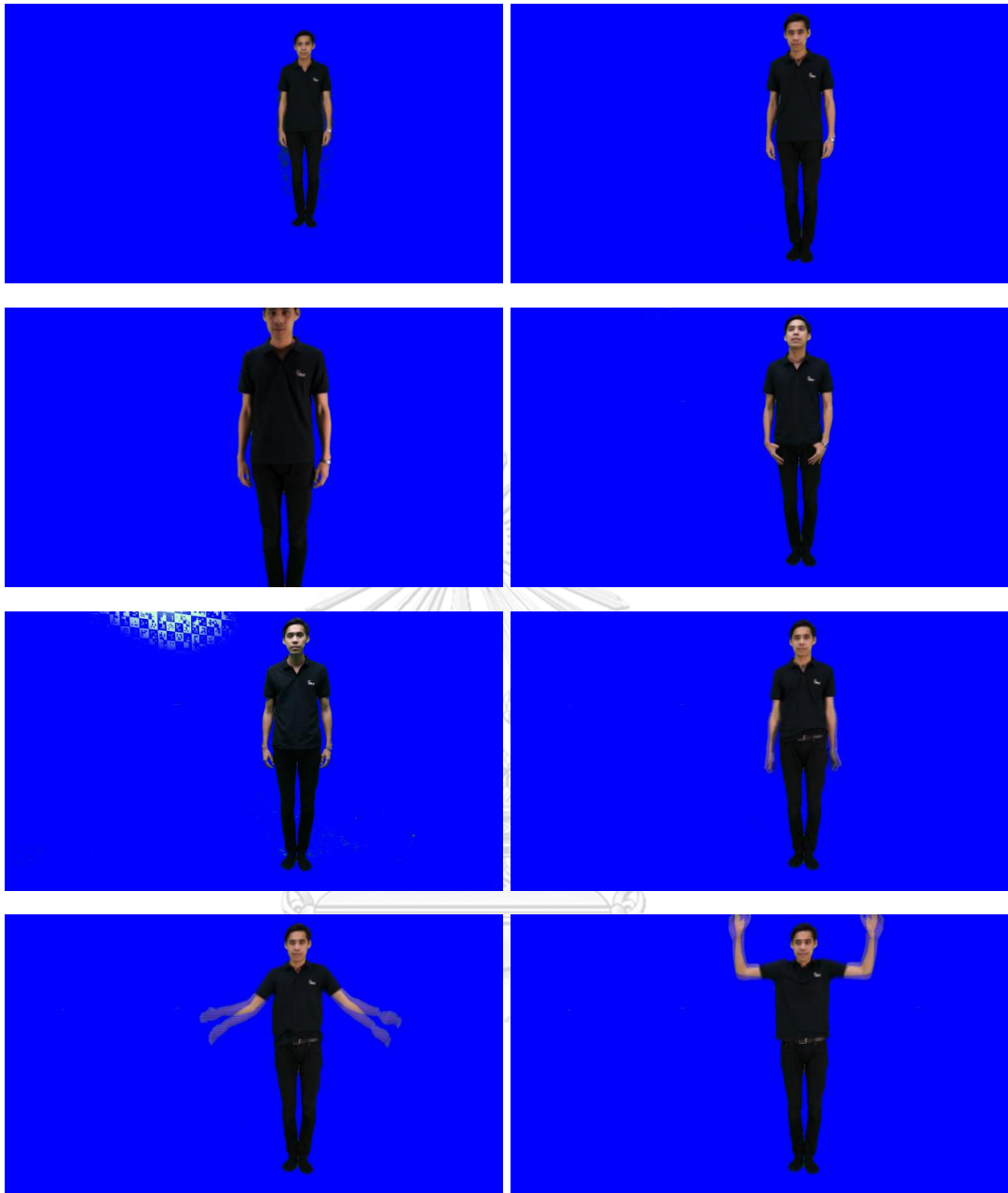
ภาพที่ 21 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีดำ



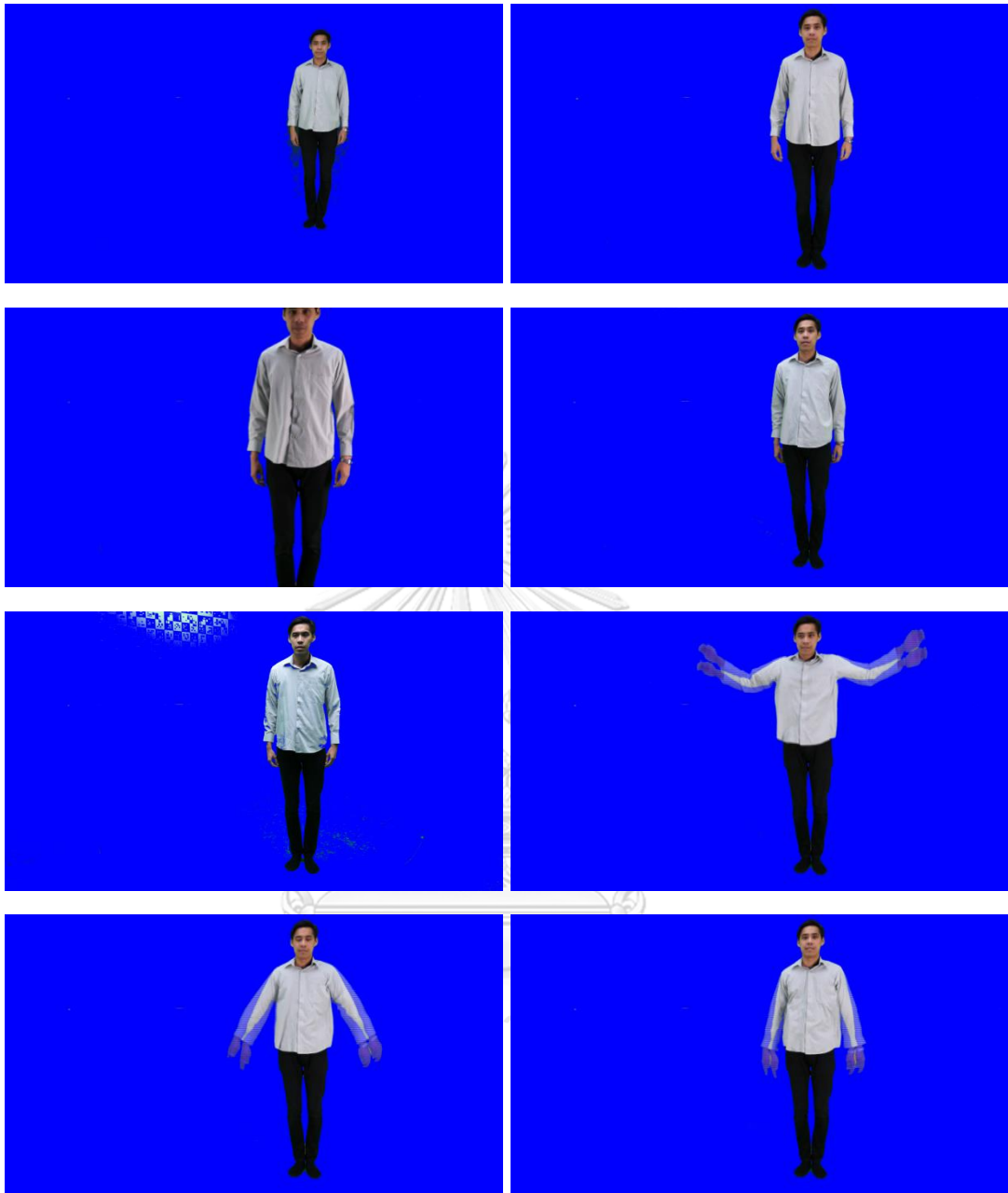
ภาพที่ 22 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีเทา



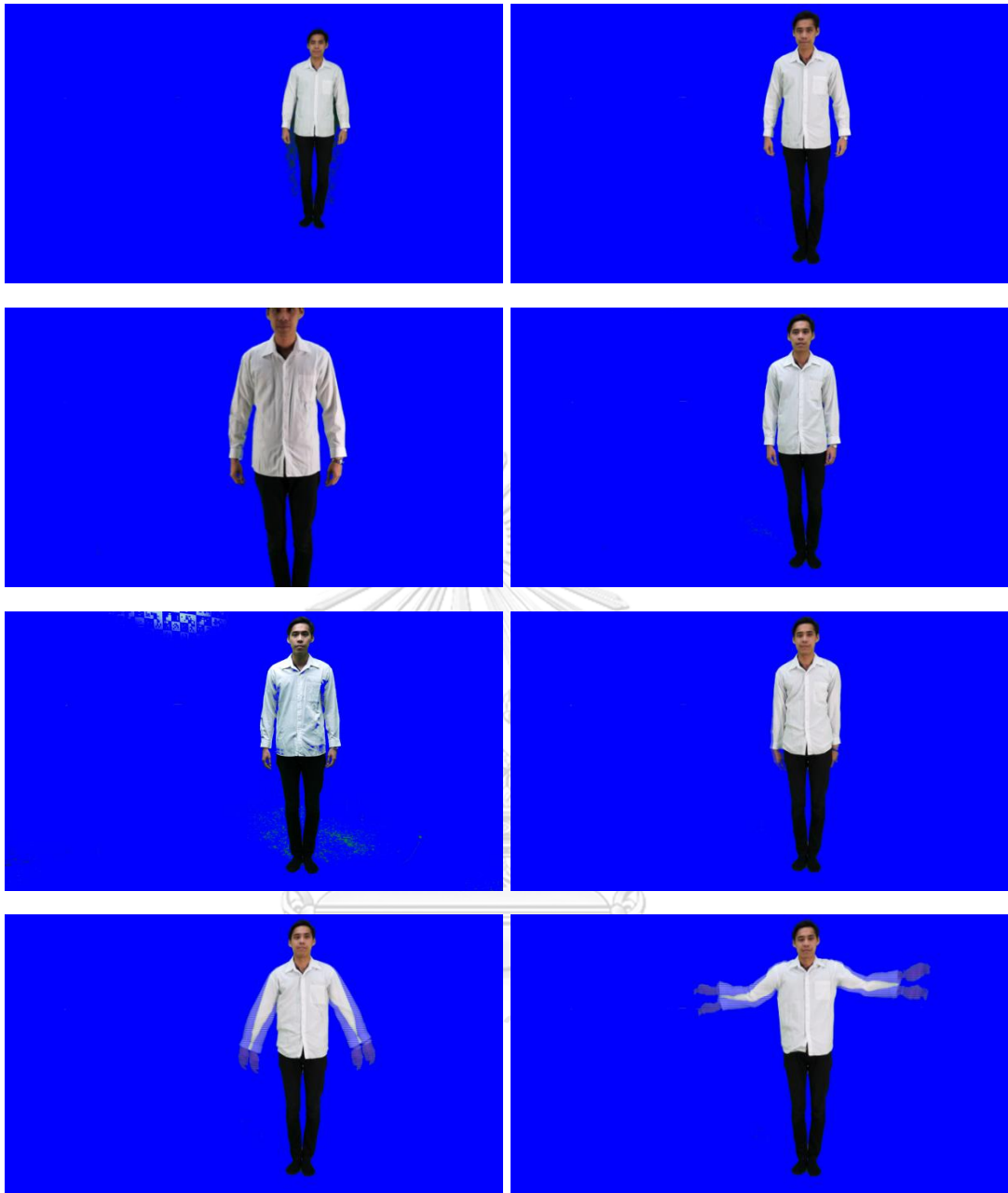
ภาพที่ 23 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB เมื่อใส่เสื้อสีขาว



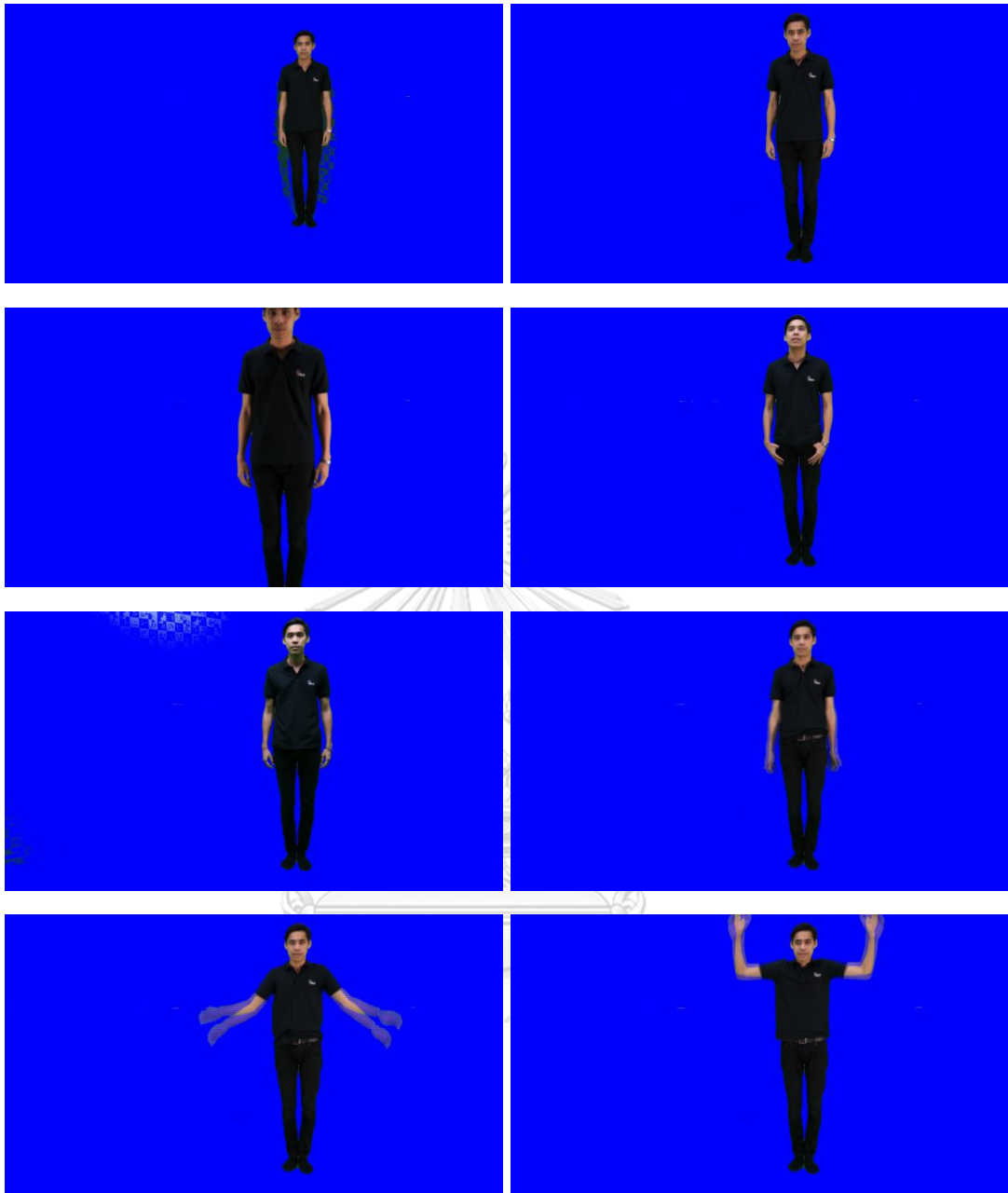
ภาพที่ 24 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีดำ



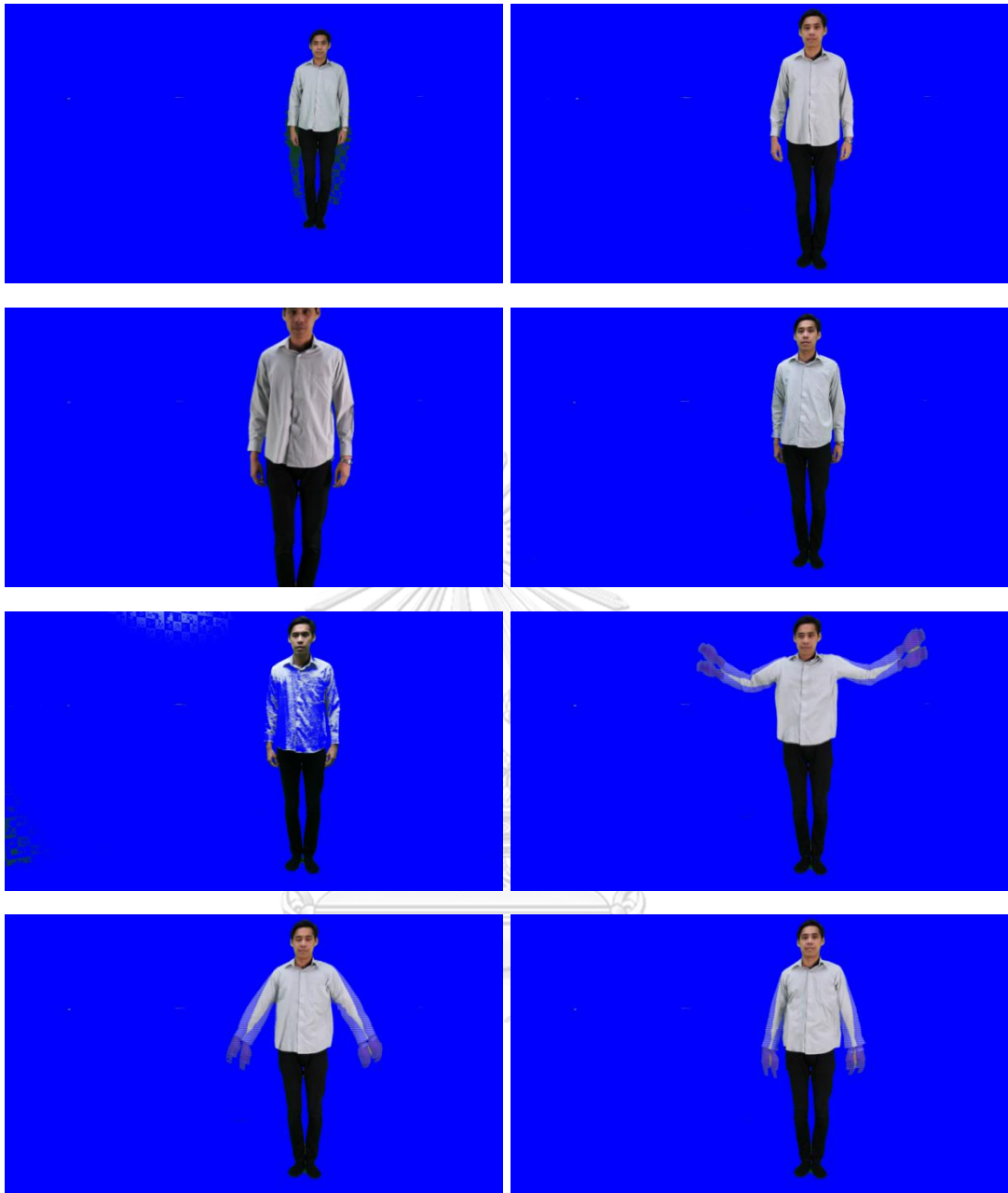
ภาพที่ 25 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีเทา



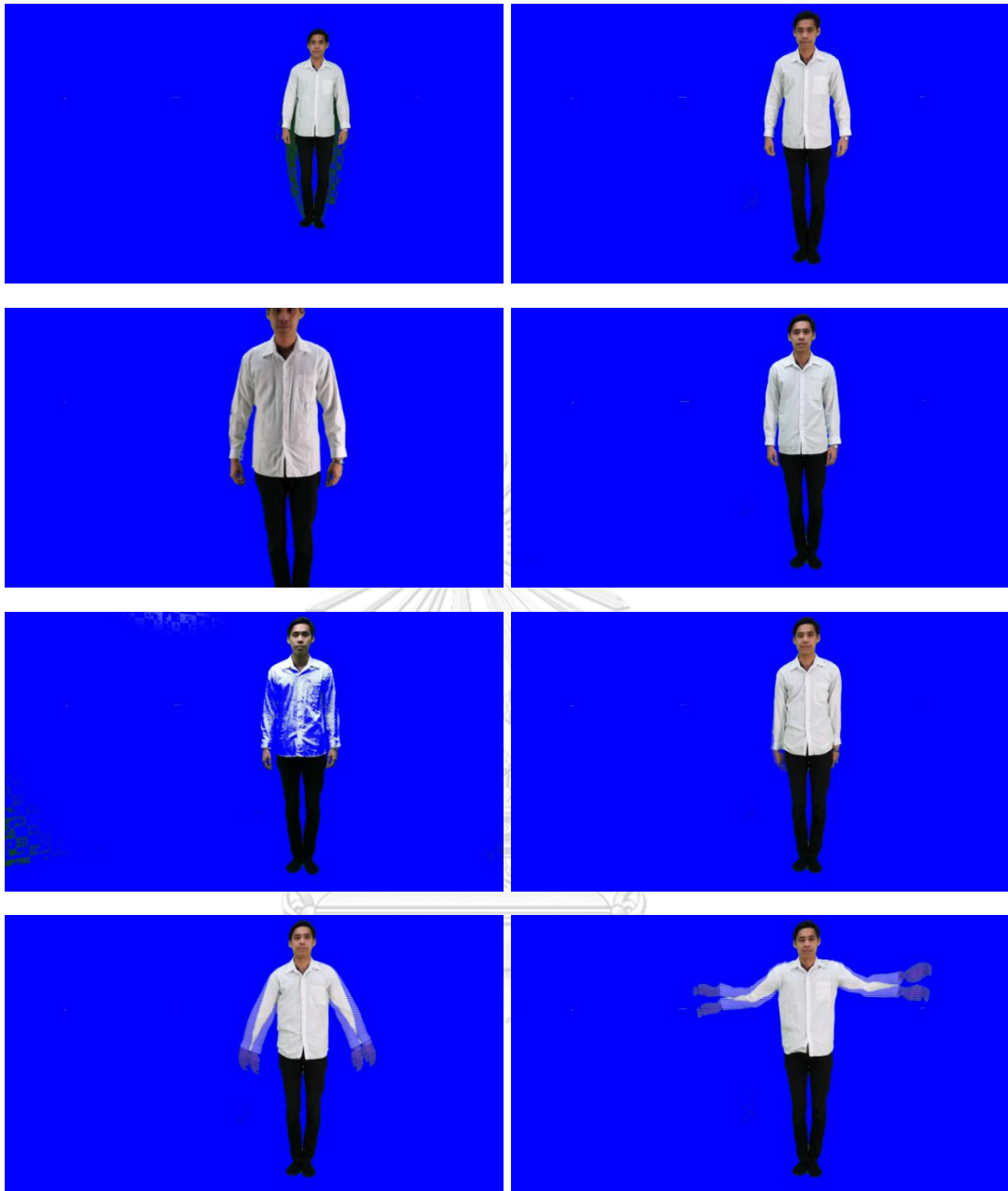
ภาพที่ 26 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV เมื่อใส่เสื้อสีขาว



ภาพที่ 27 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีดำ



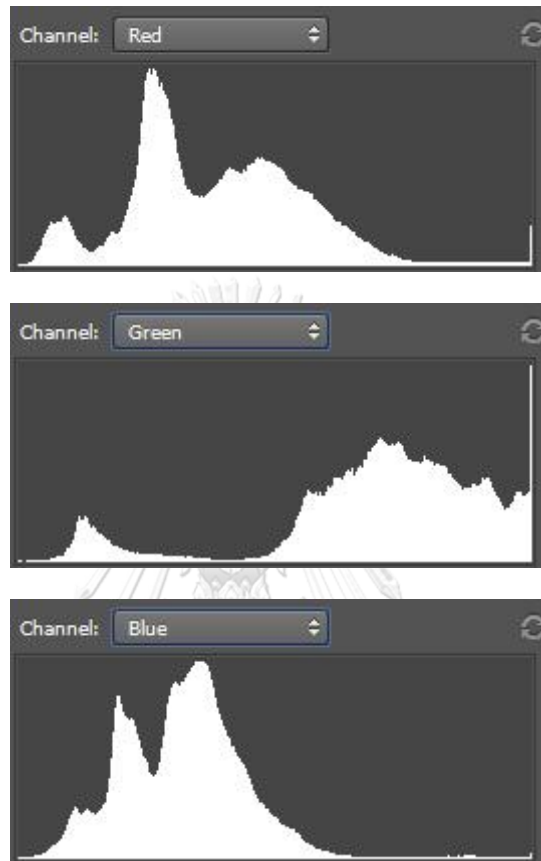
ภาพที่ 28 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีเทา



ภาพที่ 29 ผลการทดลองจากระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี YUV เมื่อใส่เสื้อสีขาว

เมื่อสังเกตภาพผลการทดลองด้วยตาเปล่า พบว่าภาพที่ 32 ที่ใช้วิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB ให้ผลลัพธ์ที่ด้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อพิจารณาฮิสโตแกรมของรูปร่างในภาพที่ 30 พบว่าจุดที่เป็นฉากเขียวในช่องสีเขียวมีการรวมกลุ่มเป็นก้อนเดียว ในขณะที่ช่องสีแดงและน้ำเงินมีการกระจายตัวออกเป็นกลุ่มหลัก 2 กลุ่ม แต่การใช้วิธี Chroma key มีการจัดช่วงของกลุ่มสีที่เป็นฉากเขียวได้เพียงกลุ่มเดียว ดังนั้นจึงมีสีเขียวบางส่วนที่อยู่คนละกลุ่มหลงเหลืออยู่ ในกรณีที่ใช้วิธี Color difference และ Chroma key ในปริภูมิสี HSV ให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน แต่วิธี Color

difference มีความทนทานต่อสภาพแสงที่ไม่คงที่ได้ดีกว่า ดังจะเห็นได้จากรูปอ้างอิงว่าในส่วนบนของรูปมีความสว่างสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ในภาพที่ 31 ที่ใช้วิธี Color difference สามารถตัดออกได้แต่ในภาพที่ 33 ที่ใช้วิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV ไม่สามารถตัดออกได้



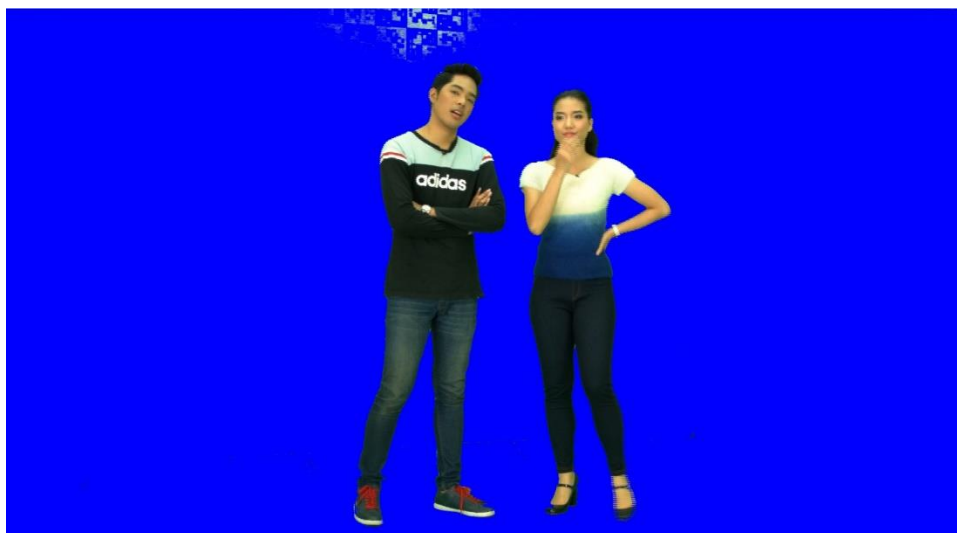
ภาพที่ 30 ฮิสโตแกรมของรูปอ้างอิง
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 31 ตัวอย่างผลการทดลองจากวิธี Color difference



ภาพที่ 32 ผลการทดลองจากวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB



ภาพที่ 33 ผลการทดลองจากวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV

3.8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่าระยะห่างจากฉากหลังส่งผลต่อการตัดฉากหลัง โดยระยะห่างที่ 30 เซนติเมตรผลที่เกิดขึ้นคือเงาของคนไปตกกระทบที่ฉากหลังทำให้ตัดฉากหลังบางส่วนไม่ได้ และบังแสงสะท้อนจากฉากหลังทำให้การเปื้อนของสีเขียวเห็นไม่ชัดเจนนัก หากเทียบระหว่างระยะห่างที่ 90 และ 150 เซนติเมตร จะพบว่าระยะห่างที่ 90 เซนติเมตรทำให้เกิดการเปื้อนของสีเขียวชัดเจนกว่า แต่ด้วยข้อจำกัดทางพื้นที่ถ่ายทำและอุปกรณ์ส่องสว่างทำให้บางส่วนของร่างกาย (แขนเสื้อด้านขวา) โดนแสงน้อยเมื่ออยู่ที่ตำแหน่ง 150 เซนติเมตรทำให้สีเขียวที่เปื้อนปรากฏชัดเจนส่งผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการใช้พื้นที่ถ่ายทำที่กว้างขึ้น เพิ่มไฟส่องสว่าง หรือเปลี่ยนเป็นแสงฟุ้ง

ตัวแปรด้านความสว่างมีผลชัดเจนต่อการเปรียบเทียบต่าง (contrast) ของภาพซึ่งระเบียบวิธี Color difference มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความสว่างมากกว่าวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ส่องสว่างที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์จึงไม่สามารถจัดสภาพแสงที่มีความสว่างมาก ๆ หรือปรับสภาพแสงโดยละเอียดได้

ตัวแปรสีเสื้อสามารถสรุปจากผลการทดลองได้ว่าสีดำหรือสีเข้มจะโดนการเปื้อนของสีเขียว น้อยและได้ผลที่ดีกว่าเสื้อที่มีสีอ่อน อย่างไรก็ตามการทดลองควรที่จะเพิ่มเสื้อสีต่าง ๆ ในความเข้มที่ต่างกัน ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขอบในการตัดฉากหลังเนื่องจากกล้องวิดีโอบางรุ่นจะมีกระบวนการเน้นขอบภาพ โดยจะสามารถตั้งสมมติฐานและทำการทดลองได้เมื่อได้อุปกรณ์เพิ่มเติม

ความเคลื่อนไหวเป็นตัวแปรที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการตัดฉากหลัง โดยผลลัพธ์เป็นไปตามสมมติฐานคือส่วนที่มีความเคลื่อนไหวจะถูกมองเป็นส่วนที่มีความโปร่งแสงซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการมองเห็นตามธรรมชาติ

เมื่อวิเคราะห์แยกตามระเบียบวิธีพบว่า ระเบียบวิธี Color difference ทำการตัดสีเขียวดำดีทนต่อความเปลี่ยนแปลงของความสว่าง แต่โดยทางทฤษฎีแล้วจะมีข้อดีน้อยกว่าระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV และ Chroma key ในปริภูมิสี YUV ในแง่การแยกโทนสี ซึ่งจะตั้งสมมติฐานและทำการทดลองได้เมื่อมีอุปกรณ์ส่องสว่างสีอื่น ๆ ที่นิยมใช้ในการถ่ายทำ เช่น สีส้ม หรือ สีฟ้า ระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี HSV และ Chroma key ในปริภูมิสี YUV สามารถแยกความเป็นสีเขียวได้ดี แต่ดี้อยู่ในการแยกแยะสีเขียวดำและไม่ทนทานต่อความเปลี่ยนแปลงของความสว่าง โดย Chroma key ในปริภูมิสี YUV จะโดนผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่า และระเบียบวิธี Chroma key ในปริภูมิสี RGB ให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในทุกกรณี



บทที่ 4

การปรับปรุงขั้นตอนวิธี

4.1 ขั้นตอนวิธีพื้นฐาน

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทก่อนหน้า โครงการนี้จะใช้ขั้นตอนวิธีพื้นฐานเป็น Color difference ซึ่งมีการทำงานตามสมการต่อไปนี้

ในรายละเอียดนั้น ค่าความทึบสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

เมื่อ α_i คือค่าความทึบที่ถูกจำกัดอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ด้วยฟังก์ชัน *saturate*, C_i คือค่าสีที่จุดนั้นๆ t_{\min} และ t_{\max} เป็นค่ากำหนดช่วงของ α_i ดังนั้น

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } D_i < t_{\min} \\ 0 & \text{เมื่อ } D_i > t_{\max} \\ 1 - \left(\frac{D_i - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}\right), & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

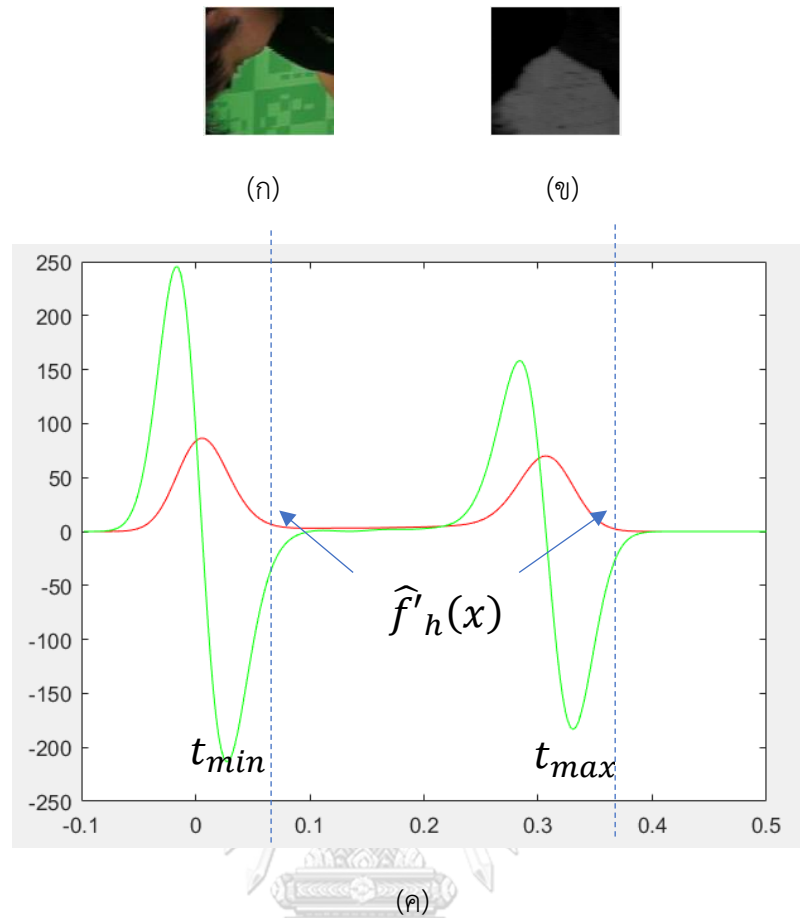
โดยในการใช้งานจริงนั้น ค่า t_{\min} และ t_{\max} เป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้เพื่อปรับค่าที่ระบุว่า จุดที่มีความต่างในค่าใดจะถือว่าเป็นฉากหลัง หรือ วัตถุเบื้องหน้าอย่างแน่นอน

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่าผู้ใช้จะต้องมีการปรับค่า t_{\min} เพื่อกำหนดว่าค่า D_i น้อยกว่าเท่าไรถึงจะถูกกำหนดเป็นพื้นหน้า ($\alpha_i = 1$) และปรับค่า t_{\max} เพื่อกำหนดว่าค่า D_i มากกว่าเท่าไรถึงจะถูกกำหนดเป็นพื้นหลัง ($\alpha_i = 0$) ส่งผลให้ค่า α_i ที่เกิดจากค่า D_i ที่อยู่ระหว่าง t_{\min} และ t_{\max} เกิดความโปร่งใสเป็นค่าไล่เลี่ยกันไป

เมื่อผู้ใช้กำหนดค่า t_{\min} และ t_{\max} แล้ว ค่าทั้งสองจะถูกนำไปใช้กับทุกจุดสีในภาพทำให้เกิดข้อจำกัดเมื่อฉากหลังเกิดความแตกต่างของการส่องสว่างสูง เช่น มีแสงส่องสว่างมากเกินไปจนทำให้ฉากหลังสีเขียวเกือบจะเป็นสีขาว ส่งผลให้ค่า D_i มีค่าลดลงจนเข้าใกล้ t_{\min} และถูกจัดเป็น

พื้นหน้า เช่นเดียวกับในกรณีที่คนอยู่ใกล้ฉากหลังจนเกิดเงาทึบ ค่า D_i จะมีค่าลดลง และอาจจะถูกจัดเป็นพื้นหน้าได้ หรือในกรณีที่แสงส่องสว่างที่ตัวคนมีไม่เพียงพอที่จะแก้ไขการเบือนของสีเขียวบนเสื้อสีอ่อน ส่งผลให้ค่า D_i มีค่าเพิ่มขึ้นจนอาจจะถูกจัดเป็นพื้นหลัง ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเจออยู่เป็นประจำในห้องถ่ายทำขนาดเล็กและมีงบประมาณจำกัดในการจัดซื้ออุปกรณ์ส่องสว่าง ด้วยข้อกำหนดนี้จึงนำมาสู่การศึกษาวิจัยขั้นตอนวิธีที่ใช้ข้อมูลของจุดสีเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้ค่ากำหนดหนดช่วงเพียงค่าเดียวกับทุกสภาพแสงที่อาจจะมีความแตกต่างกันในภาพ

จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าเมื่อรวบรวมข้อมูลจุดสีรอบข้างในกรอบหน้าต่างแล้วนำข้อมูลของจุดสีนั้น ๆ มาคำนวณหาค่า D_i เพื่อนำมาจัดกลุ่มเป็นจำนวนสองกลุ่มสำหรับพื้นหน้าและพื้นหลังผลลัพธ์ที่ได้คือการแยกกลุ่มที่ค่อนข้างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 34 แต่ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มนั้นมีความแตกต่างสำหรับกรอบหน้าต่างที่อยู่ต่างบริเวณขึ้นอยู่กับสภาพแสงที่ฉายลงฉากเขียวและส่วนของสีพื้นหน้าที่อยู่ในกรอบหน้าต่าง จึงนำมาสู่การริเริ่มนำการจัดกลุ่มค่า D_i เพื่อนำมาปรับค่า t_{min} และ t_{max} เฉพาะที่ โดยวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มสำหรับข้อมูล 1 มิติคือการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลตั้งจะกล่าวเป็นรายละเอียดหลักในบทนี้ นอกจากนี้ในรายงานฉบับนี้ยังจะนำเสนอการขั้นตอนวิธีการใช้ข้อมูลความลึกเพื่อลดภาระผู้ใช้ในการปรับค่าเริ่มต้นสำหรับ t_{min} และ t_{max} อีกด้วย



ภาพที่ 34 การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล

4.2 การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล

การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลเป็นขั้นตอนวิธีเชิงไม่พารามิเตอร์ (non-parametric) ที่ใช้ประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรเชิงสุ่ม นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการสร้างแบบจำลองที่ราบเรียบจากข้อมูลนำเข้าที่มีจำนวนจำกัด

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 คือ ฟังก์ชันเคอร์เนล (ฟังก์ชันที่ไม่มีค่าเป็นลบ มีปริพันธ์เป็น 1 และมีค่ากลางเป็น 0) $h > 0$ คือค่ากำหนดความราบเรียบหรือแบนด์วิดท์ (bandwidth) เมื่อเปรียบเทียบกับฮิตโตแกรมก็คือค่าความกว้างของถังนั่นเอง งานวิจัยนี้ทำการกำหนดค่า $h = 0.025$ ฟังก์ชันเคอร์เนลที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือฟังก์ชันเกาส์เซียน

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

ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้ใช้การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลเพื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่า 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

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

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

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

4.3 การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าจำนวนค่า \hat{D} ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดของทุกจุดสีในภาพที่มีจำนวนไม่เกิน 2 มีจำนวนมากกว่าจุดสีที่มีจำนวนค่า \hat{D} ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุดจำนวนเกิน 2 ในกรณีที่มีจำนวน 1 คือบริเวณที่เป็นพื้นหน้าหรือพื้นหลังเพียงอย่างเดียว และจำนวน 2 คือบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นหน้าและพื้นหลังดังแสดงในภาพที่ 36 (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 $\hat{f}_h(\hat{D}_m)$ มีค่ามากที่สุด 2 ลำดับแรกจะถูกเลือกขึ้นมา สมมติว่าเป็น \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 $\hat{f}_h(\hat{D}_m)$ ที่สัมพันธ์กับค่าฐานนิยม \hat{D}_m ที่ถูกนำไปแทนที่ t_{min} หรือ t_{max} แต่ในกรณีที่ค่ากำหนดช่วงไม่ถูกแทนที่ ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ϵ ที่น้อยมากๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือคู่ลำดับ (t_{min}, w_{min}) และ (t_{max}, w_{max})

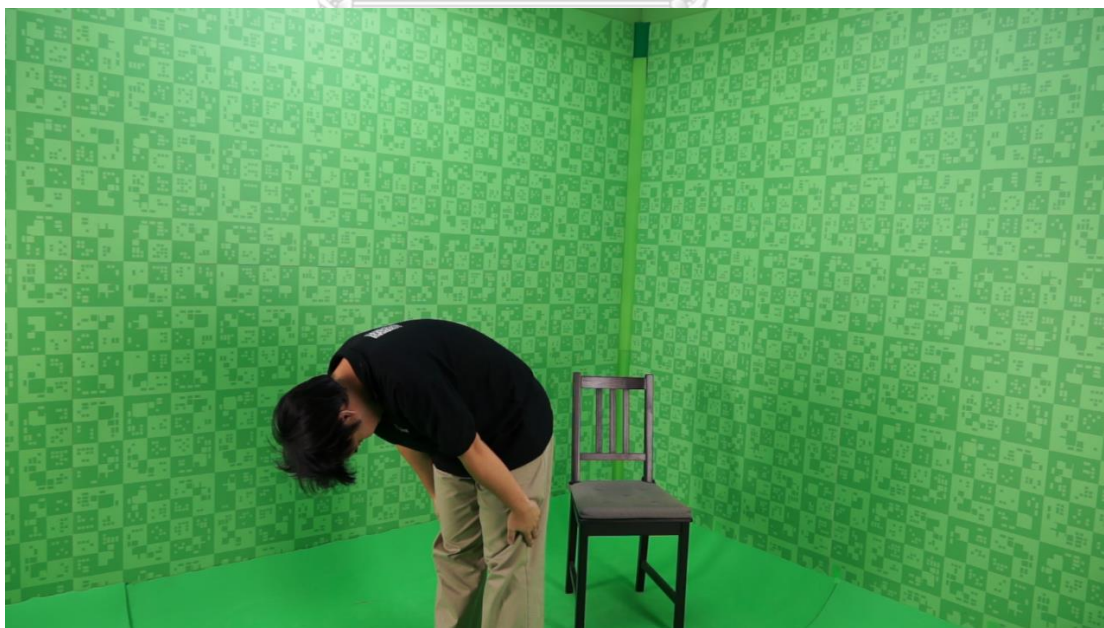
4.4 การคำนวณค่าถ่วงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักสำหรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

เมื่อได้คู่ลำดับ $(t_{i,min}, w_{i,min})$ และ $(t_{i,max}, w_{i,max})$ ของแต่ละจุดสี C_i แล้ว คู่ลำดับค่ากำหนดช่วงของทุกจุดสีรอบข้างในหน้าต่าง SW_i จะถูกนำมาคำนวณค่าถ่วงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ค่ากำหนดช่วงมีความราบเรียบดังสมการ

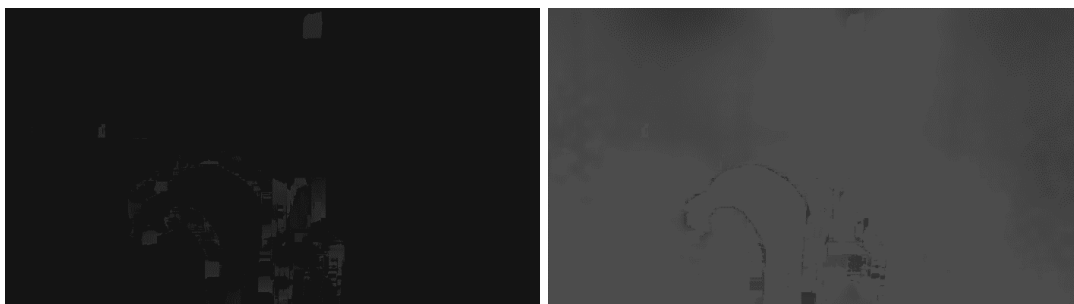
$$t_{i,\{min,max\}} = \frac{\sum_{j \in SW_i} w_{j,\{min,max\}} t_{j,\{min,max\}}}{\sum_{j \in SW_i} w_{j,\{min,max\}}}$$

กระบวนการทั้ง 3 ขั้นตอนนี้จะถูกนำไปใช้กับทุกจุดสีในภาพเพื่อหาค่า t_{min} และ t_{max} ที่เหมาะสมเฉพาะที่ แล้วจึงนำค่า t_{min} และ t_{max} ที่ได้ไปคำนวณหาค่าความทึบเพื่อทำการแยกฉากหลังต่อไป

ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่สำหรับข้อมูลขาเข้าภาพที่ 35 แสดงในภาพที่ 36 ภาพที่ 36 โดย (ก) แสดงค่า t_{min} และ (ข) แสดงค่า t_{max} จะเห็นได้ว่าเกิดความไม่ต่อเนื่องในการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในผลลัพธ์การแยกฉากหลัง จึงอาศัยการทำให้ราบเรียบด้วยวิธีการหาผลรวมถ่วงน้ำหนักกับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ของจุดสีรอบข้างในหน้าต่าง SW_i ได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 36 (ค) และ (ง) ตามลำดับ

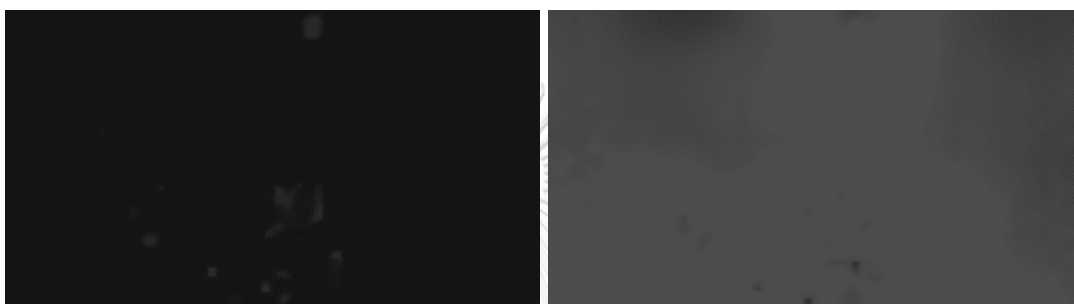


ภาพที่ 35 ภาพข้อมูลขาเข้าตัวอย่างสำหรับขั้นตอนวิธี KDE



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

ภาพที่ 36 ผลลัพธ์การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

4.5 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี

กระบวนการทำงานสามารถอธิบายได้ด้วยรหัสเทียมดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รหัสเทียม LocalThresholdComputation(C, t_{min}, t_{max})

```

1  for each  $C_i$  in  $C$ 
2    compute  $D_i$ 
3    for  $D_s$  in  $[-0.1, 0.5]$ 
4      compute  $K(D_i - D_s)$ 
5      compute  $K'(D_i - D_s)$ 
6    end for
7  end for each
8  for each  $C_i$  in  $C$ 
9    set of modes =  $\emptyset$ 
10   for  $D_s$  in  $[-0.1, 0.5]$ 
11      $\hat{f}_h(D_s) = 0$ 
12      $\hat{f}'_h(D_s) = 0$ 
13     for each  $C_j$  in  $W_i$ 
14        $\hat{f}_h(D_s) = \hat{f}_h(D_s) + K(D_j - D_s)$ 
15        $\hat{f}'_h(D_s) = \hat{f}'_h(D_s) + K'(D_j - D_s)$ 
16     end for each
17     if  $\hat{f}'_h(D_{s-1}) > 0$  and  $\hat{f}'_h(D_s) \leq 0$ 
18       compute  $\hat{D}$ 
19       compute  $\hat{f}_h(\hat{D})$ 
20       if  $\hat{D} > t_{min}$  and  $\hat{D} < t_{max}$ 
21         insert  $(\hat{D}, \hat{f}_h(\hat{D}))$  into set of modes
22       end if
23     end if
24   end for
25   set of modes = SortDecending(set of modes)
26    $(\hat{D}_1, \hat{f}_h(\hat{D}_1)) = \text{set of modes}[0]$ 
27    $(\hat{D}_2, \hat{f}_h(\hat{D}_2)) = \text{set of modes}[1]$ 
28    $(t_{i,min}, w_{i,min}) = (t_{min}, \varepsilon)$ 
29    $(t_{i,max}, w_{i,max}) = (t_{max}, \varepsilon)$ 
30   if length(set of modes) == 1
31     if  $\hat{D}_1 - t_{min} < t_{max} - \hat{D}_1$ 
32        $(t_{i,min}, w_{i,min}) = (\hat{D}_1, \hat{f}_h(\hat{D}_1))$ 
33     else
34        $(t_{i,max}, w_{i,max}) = (\hat{D}_1, \hat{f}_h(\hat{D}_1))$ 
35     end if

```

```

36   else if length(set of modes) > 1
37     ( $t_{i,min}, w_{i,min}$ ) = ( $\hat{D}_1, \hat{f}_h(\hat{D}_1)$ )
38     ( $t_{i,max}, w_{i,max}$ ) = ( $\hat{D}_2, \hat{f}_h(\hat{D}_2)$ )
39   end if
40 end for each
41 for each  $C_i$  in  $C$ 
42    $sum_{wt,\{min,max\}} = \{0,0\}$ 
43    $sum_{w,\{min,max\}} = \{0,0\}$ 
44   for each  $C_j$  in  $SW_i$ 
45      $sum_{wt,\{min,max\}} = sum_{wt,\{min,max\}} +$ 
 $w_{j,\{min,max\}}t_{j,\{min,max\}}$ 
46      $sum_{w,\{min,max\}} = sum_{w,\{min,max\}} + w_{j,\{min,max\}}$ 
47   end for each
48    $t_{i,\{min,max\}} = sum_{wt,\{min,max\}}/sum_{w,\{min,max\}}$ 
49 end for each

```

การประมาณความหนาแน่นคอร์เนลของค่าสีเขียว D_{W_i} ของจุดสีที่อยู่ในหน้าต่าง W_i ล้อมรอบจุดสี C_i และการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ $t_{i,min}$ และ $t_{i,max}$ จะถูกคำนวณที่ทุกๆ จุดสี C_i ในภาพ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกจุดสีนั้นจะต้องมีการคำนวณค่าสีเขียว D_j , $K(D_j - D_S)$ และ $K'(D_j - D_S) \mid j \in W_i$ เพื่อนำมาทำการประมาณความหนาแน่นคอร์เนล โดยค่า D_S ถูกแบ่งเป็นช่วงเต็มหน่วยจำนวน 32 ช่วงระหว่าง $[-0.1, 0.5]$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคำนวณที่ซ้ำซ้อนเนื่องจากหน้าต่างของจุดสีที่อยู่ติดกันมีการทับซ้อน ดังนั้นค่า D_i , $K(D_i - D_S)$ และ $K'(D_i - D_S)$ จะถูกคำนวณเก็บไว้ก่อนสำหรับทุกจุดสี C_i เพื่อลดการคำนวณที่ซ้ำซ้อนดังแสดงในรหัสเทียมบรรทัดที่ 1 - 7

เมื่อได้ค่า $K(D_i - D_S)$ และ $K'(D_i - D_S)$ สำหรับทุกจุดสี C_i แล้วจึงทำการหาผลรวมเพื่อหาการประมาณความหนาแน่นคอร์เนล $\hat{f}_h(D_S)$ และอนุพันธ์ลำดับที่ 1 $\hat{f}'_h(D_S)$ ตามลำดับ โดยจะใช้ขั้นตอนวิธีการไล่ค่า D_S ตั้งแต่ t_{min} ถึง t_{max} ที่ลงรอยกับค่าในช่วงเต็มหน่วยจำนวน 32 ช่วงระหว่าง $[-0.1, 0.5]$ จนได้คู่ลำดับ $(\hat{D}_m, \hat{f}_h(\hat{D}_m))$ ของทุกฐานนิยมดังแสดงในรหัสเทียมบรรทัดที่ 8 - 24 และอธิบายในหัวข้อ การประมาณความหนาแน่นคอร์เนล หลังจากนั้นจึงนำทุกคู่ลำดับ $(\hat{D}_m, \hat{f}_h(\hat{D}_m))$ ไปทำการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ตั้งแสดงในรหัสเทียมบรรทัดที่ 25 - 40 และอธิบายในหัวข้อ การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่สำหรับข้อมูลขาเข้าภาพที่ 35 แสดงในภาพที่ 36 โดย (ก) แสดงค่า t_{min} และ (ข) แสดงค่า t_{max} จะเห็นได้ว่าเกิดความไม่ต่อเนื่องในการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในผลลัพธ์การแยกฉากหลัง จึงอาศัยการทำให้ราบรื่นด้วยวิธีการหาผลรวมถ่วงน้ำหนักกับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ของจุดสี่รอบข้างในหน้าต่าง SW_i ดังแสดงในรหัสเทียมบรรทัดที่ 41 – 49 และอธิบายในหัวข้อ



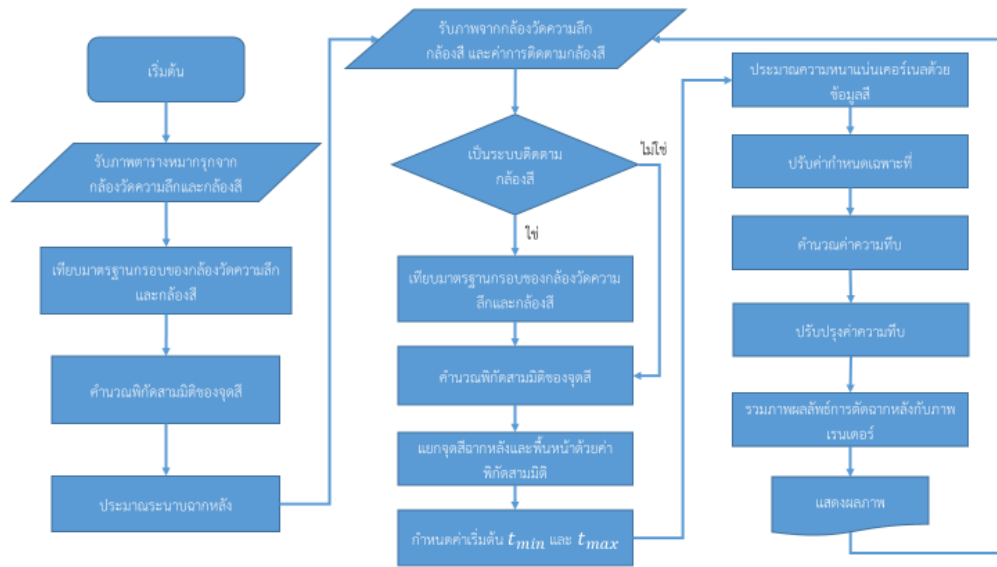
การคำนวณค่าถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักสำหรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่ได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 36 (ค) และ (ง) ตามลำดับ

4.6 การกำหนดค่าเริ่มต้นของค่า t_{min} และ t_{max}

เมื่อได้ระนาบของฉากหลังแล้วขั้นตอนวิธีจะทำการจำแนกฉากหลังและพื้นหน้าด้วยวิธีกำหนดช่วงระยะห่างระหว่างจุดสีและระนาบของฉากหลัง โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มสีฉากหลังและกลุ่มสีพื้นหน้า ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาคำนวณการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลของค่า D_i จากทุกจุดสีในกลุ่มเพื่อหาฐานนิยมด้วยขั้นตอนวิธีเดียวกับที่นำเสนอในหัวข้อการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล โดยฐานนิยมของกลุ่มสีพื้นหน้าจะถูกกำหนดค่าให้กับ t_{min} และฐานนิยมของกลุ่มสีฉากหลัง t_{max} ซึ่งค่าทั้งสองนี้จะถูกนำไปเป็นค่าเริ่มต้นเพื่อใช้กับการปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่สำหรับภาพทุกเฟรมดังอธิบายในหัวข้อ การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่

4.7 ผังงาน

ขั้นตอนวิธีในบทนี้ที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น ในภาพรวมได้ถูกสรุปไว้ดังผังงานในภาพที่ 37 โดยขั้นตอนโดยรวมจะเริ่มที่การเทียบมาตรฐานระหว่างกล้องวัดความลึกและกล้องสีก่อน (หัวข้อ **Error! Reference source not found.**) แล้วจึงนำมาประมาณหาระนาบของฉากหลัง (หัวข้อ **Error! Reference source not found.**) โดยทำเพียงครั้งเดียวและจะทำใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนกล้องหรือมีการเปลี่ยนตำแหน่งของกล้องวัดความลึกเท่านั้น หลังจากนั้นจึงเข้าวงวนของการใช้งานจริงโดยเริ่มที่การรับภาพความลึกและภาพสี แยกกรณีการคำนวณพิกัดในสามมิติของจุดสีตามความสามารถของระบบติดตามกล้องสี เมื่อได้ตำแหน่งในสามมิติของจุดสีมาแล้วจึงทำการแยกจุดสีพื้นหน้าและจุดสีพื้นหลังด้วยระยะห่างจากระนาบฉากหลังเพื่อคำนวณค่าเริ่มต้นของ t_{min} และ t_{max} (หัวข้อ **Error! Reference source not found.**) หลังจากนั้นจะทำการพิจารณาเฉพาะข้อมูลสีเพื่อทำการปรับค่ากำหนดเฉพาะที่ $t_{i,min}$ และ $t_{i,max}$ สำหรับแต่ละจุดสี C_i (หัวข้อ การปรับค่ากำหนดช่วงเฉพาะที่) แล้วจึงนำค่า $t_{i,min}$ และ $t_{i,max}$ ไปคำนวณหาค่าความทึบเพื่อนำไปปรับปรุงค่าความทึบแล้วจึงทำการรวมผลภาพ แสดงผล แล้วกลับเข้าสู่วงวนการรับภาพความลึกและภาพสีต่อไป



ภาพที่ 37 ผลงานการแยกฉากหลัง



บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การเก็บข้อมูล

ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของการทำงานของแยกฉากหลัก นอกเหนือไปจากกล้องวิดีโอที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก ได้แก่ สภาพแวดล้อมของฉาก, สภาพของไฟส่องสว่าง และ ขนาดภาพที่ใช้ถ่ายทำ โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะต้องเก็บให้ครบในทุกปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปัจจัยสภาพแวดล้อมของฉากคือลักษณะของฉากที่มีการถ่ายทำ โดยจะใช้ระยะห่างระหว่างฉากหลังมายังนักแสดง ในกรณีที่มีนักแสดงมาก นักแสดงจะต้องยืนเข้าไปใกล้ฉากหลังมากขึ้น ในกรณีที่มีนักแสดงเพียงคนเดียว นักแสดงสามารถยืนให้ห่างจากฉากหลังได้มากยิ่งขึ้น ปัจจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อสีเขียวที่สะท้อนจากฉากหลังมายังผิวหนังแสดง

ปัจจัยของไฟส่องสว่างนั้นมีความจำเป็นคือการปรับแสงทำให้การแยกสีของฉากหลังนั้นทำได้ลำบาก เราจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบสภาพแสงที่มากเกินไป และ น้อยเกินไปที่ทำให้ประสิทธิภาพของการแยกฉากหลังนั้นไม่สามารถทำได้ดี โดยการทดสอบจะทำการกับสภาพแสงสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ

ปัจจัยตัวนักแสดงเอง ซึ่งมีการใส่เสื้อสีต่าง ๆ เราจะทำการทดลองด้วยเสื้อสีที่แตกต่างกันไป

5.2 การวัดผล

การวัดผลนั้นจะทำโดยนำเอาภาพข้อมูลนำเข้ามาทำการคำนวณค่าความทึบแสงด้วยโปรแกรมคำนวณค่าทึบแสงแบบ Offline ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก แต่ให้ผลที่ดี และปรับแต่งด้วยมือในจุดต่าง ๆ ที่เห็นได้ว่าไม่ถูกต้อง แล้วนำเอาค่าความทึบแสงดังกล่าวมาใช้เป็นคำตอบอ้างอิง (Ground Truth) ผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบค่า RMS Error ระหว่างค่าทึบแสงที่คำนวณได้กับคำตอบอ้างอิง

การทดลองทั้งหมดจะกระทำกับภาพนิ่งจำนวนหลาย ๆ ภาพ เนื่องมาจากขั้นตอนการหาคำตอบอ้างอิง (Ground Truth) นั้นต้องใช้แรงงานและเวลาเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้จัดทำภาพวีดีทัศน์เปรียบเทียบผลเพื่อทำการตรวจสอบด้วยสายตาเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค พร้อมกับได้แนบไฟล์ดังกล่าวมาใน DVD ประกอบรายงานฉบับนี้ด้วย

5.3 การทดลองเปรียบเทียบการใช้การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล

ในส่วนนี้นำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบขั้นตอนวิธี Color difference ซึ่งเป็นวิธีที่เลือกมาใช้เป็นขั้นตอนวิธีตั้งต้น เทียบกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในบทที่ 5 การปรับปรุงขั้นตอนวิธี ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยเพิ่มเติมเทคนิคการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนล (KDE) เข้าไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นใหม่นั้นมีผลการทำงานที่ดีกว่าขั้นตอนวิธี Color difference บนสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน

สมมติฐาน

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ (KDE) จะทนต่อพื้นหลังที่ไม่สม่ำเสมอได้ดีกว่าขั้นตอนวิธี Color difference
2. เวลาในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ จะใช้เวลาทำงานมากกว่าขั้นตอนวิธี Color difference แต่จะไม่มากไปกว่า 16.67 มิลลิวินาที (60 ภาพต่อวินาที)

ตัวแปรต้น

1. กล้อง 2 ตัว ได้แก่ Sony NEX-VG30 และ Blackmagic Design URSA Mini 4.6K Digital Cinema Camera (EF-Mount)
2. สีเสื้อ 2 สี
 - สีดำ แทนกลุ่มของเสื้อที่มีสีเข้ม ที่ไม่ถูกสีเขียวจากฉากหลังสะท้อนใส่
 - สีขาว แทนกลุ่มของเสื้อที่มีสีอ่อน ที่มีถูกสีเขียวจากฉากหลังสะท้อนใส่
3. ระยะฉากหลัง 2 ระยะ (วัดจากมุมสุดของฉากหลัง มาถึงจุดกึ่งกลางนักแสดง)
 - 80 เซนติเมตร แทนระยะใกล้เป็นพิเศษ กรณีที่ต้องการเพิ่มจำนวนนักแสดงในกล้อง หรือพื้นที่ห้องจำกัด
 - 160 เซนติเมตร แทนระยะมาตรฐานที่ใช้ในการถ่ายทำปกติ
4. สภาพแสง 2 แบบ
 - แสงสม่ำเสมอ แทนแสงไฟที่ถูกจัดอย่างเหมาะสมสำหรับการถ่ายทำ
 - แสงไม่สม่ำเสมอ แทนกรณีที่มีเฉพาะแสงไฟตั้งพื้นสำหรับส่องนักแสดงเท่านั้น
5. ขั้นตอนวิธี 2 วิธี
 - Color difference
 - Our method

ตัวแปรตาม

1. RMS Error ของ Alpha ของแต่ชั้นตอนวิธีโดยมีเปรียบเทียบกับ Ground truth จากการสร้างด้วยคนซึ่งบอกว่าส่วนนั้นควรมีค่า Alpha ที่ถูกต้องเป็นเท่าไร
2. เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

ตัวแปรควบคุม

1. ตำแหน่งอุปกรณ์ทั้งหมด คือ ฉากหลัง กล้องวิดีโอ ไฟส่องสว่าง ถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่งเดิมตลอดการทดลอง
2. การตั้งค่าของกล้องถูกกำหนดไว้เท่าเดิมตลอดการทดลอง ดังนี้
 - กล้อง Sony NEX-VG30
 - สมดุลแสงขาวที่ (White balance): 5600 เคลวิน
 - อัตราการขยายสัญญาณ (Gain): 3 เดซิเบล
 - ความเร็วชัตเตอร์ (Shutter speed): 150 ภาพต่อวินาที
 - กล้อง Blackmagic Design URSA Mini 4.6K
 - สมดุลแสงขาวที่ (White balance): 5600 เคลวิน
 - ความไวในการรับแสง (ISO): 400
 - ขนาดรูรับแสง (Aperture): f/6.7
 - มุมชัตเตอร์ (Shutter angle): 90°
3. ขนาดของภาพจากกล้องคือ 1920 x 1080 ที่ความถี่ 50i
4. ปรับระยะโฟกัสอัตโนมัติบริเวณหน้าคนเท่านั้น
5. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล

อุปกรณ์

1. ห้องถ่ายทำชั่วคราว
2. ฉากสีเขียวที่มีความต่างของระดับสีเขียว
3. หลอดไฟติดเพดานแบบ LED และแผงไฟส่องสว่างด้านข้างแบบตั้งพื้น 2 ชุด (1 แผงมีไฟฟลูออเรสเซนต์ 55 วัตต์ 6 หลอด 2 แผง)
4. กล้อง Sony NEX-VG30 และกล้อง Blackmagic Design URSA Mini 4.6K Digital Cinema Camera พร้อมเลนส์ Canon EF 24-70mm f/2.8L II USM
5. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล

- หน่วยประมวลผลกลางความเร็ว 3.4GHz
- หน่วยความจำ 8GB
- หน่วยประมวลผลกราฟิก NVIDIA GeForce GTX 1080
- ภาษาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทดลอง C++
- ไลบรารีหลักที่ใช้ DirectCompute

วิธีการทดลอง

สลับเก็บข้อมูลตามตัวแปรต้นข้อ 1-4 จนได้ภาพครบทั้งหมด 16 ภาพ โดยตั้งค่ากล้อง และ ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามตัวแปรควบคุม และมีความแตกต่างระหว่างแสงแบบสม่ำเสมอ กับ ไม่สม่ำเสมอคือการเปิดและปิดหลอดไฟติดเพดานแบบ LED ตามลำดับ

ผลการทดลอง

การทดลองแต่ละขั้นตอนวิธีทำบนภาพชุดเดียวกันทั้งหมด ค่าความผิดพลาดที่นำมาแสดง เป็นผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่าง Ground truth และคำนวณเป็นค่า RMS Error ดังสมการนี้

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

เมื่อ	n	แทนจำนวนพิกเซลทั้งหมด
	α_i	แทนค่า Alpha ในตำแหน่งพิกเซลที่ i ของ Ground truth (มีค่าระหว่าง 0-255)
	β_i	แทนค่า Alpha ในตำแหน่งพิกเซลที่ i ของขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ (มีค่าระหว่าง 0-255)

สำหรับผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 จะแสดงผลการทดลอง 3 ส่วน ในแต่ละขั้นตอนวิธี ดังนี้

1. นักแสดง (Subject) จะคำนวณค่า RMS Error เฉพาะส่วนนักแสดงเท่านั้น คือส่วนที่มีค่า Alpha ในภาพ Ground truth มากกว่า 0
2. ฉากหลัง (Background) จะคำนวณค่า RMS Error เฉพาะส่วนฉากหลังเท่านั้น คือส่วนที่มีค่า Alpha ในภาพ Ground truth เท่ากับ 0

- ทั้งภาพ (All) จะคำนวณค่า RMS Error จากข้อมูลทั้งภาพ
3. ทั้งภาพ (All) จะคำนวณค่า RMS Error จากข้อมูลทั้งภาพ



ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธี Color difference และขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

กล้อง	เส้น	ระยะ ฉากหลัง (ซม.)	สภาพแสง	Color difference RMS Error (Subject, Background, All)	Our method RMS Error (Subject, Background, All)
VG-NEX30	ดำ	80	สม่ำเสมอ	3.47, 0.26, 0.78	2.53, 0.26, 0.59
VG-NEX30	ดำ	80	ไม่สม่ำเสมอ	13.84, 8.75, 9.08	7.80, 3.53, 3.86
VG-NEX30	ดำ	160	สม่ำเสมอ	2.77, 0.61, 0.95	2.07, 0.44, 0.70
VG-NEX30	ดำ	160	ไม่สม่ำเสมอ	6.33, 7.25, 7.19	4.46, 2.96, 3.09
VG-NEX30	ขาว	80	สม่ำเสมอ	3.46, 0.32, 0.81	2.37, 0.05, 0.51
VG-NEX30	ขาว	80	ไม่สม่ำเสมอ	17.80, 6.73, 7.64	16.11, 2.66, 4.38
VG-NEX30	ขาว	160	สม่ำเสมอ	3.37, 0.57, 1.06	1.61, 0.16, 0.46
VG-NEX30	ขาว	160	ไม่สม่ำเสมอ	18.76, 7.89, 8.69	16.38, 4.12, 5.33
URSA Mini 4.6K	ดำ	80	สม่ำเสมอ	7.29, 3.20, 3.59	6.36, 1.77, 2.33
URSA Mini 4.6K	ดำ	80	ไม่สม่ำเสมอ	19.83, 40.16, 39.26	17.48, 23.31, 23.00
URSA Mini 4.6K	ดำ	160	สม่ำเสมอ	15.68, 3.39, 5.61	15.40, 1.65, 4.76
URSA Mini 4.6K	ดำ	160	ไม่สม่ำเสมอ	15.04, 41.74, 40.26	13.72, 25.55, 24.82
URSA Mini 4.6K	ขาว	80	สม่ำเสมอ	18.35, 3.43, 5.34	16.06, 1.72, 4.02
URSA Mini 4.6K	ขาว	80	ไม่สม่ำเสมอ	19.07, 39.33, 38.49	18.54, 23.34, 23.08
URSA Mini 4.6K	ขาว	160	สม่ำเสมอ	10.65, 3.87, 4.71	10.42, 2.24, 3.55
URSA Mini 4.6K	ขาว	160	ไม่สม่ำเสมอ	21.60, 40.91, 39.50	20.50, 24.88, 24.51

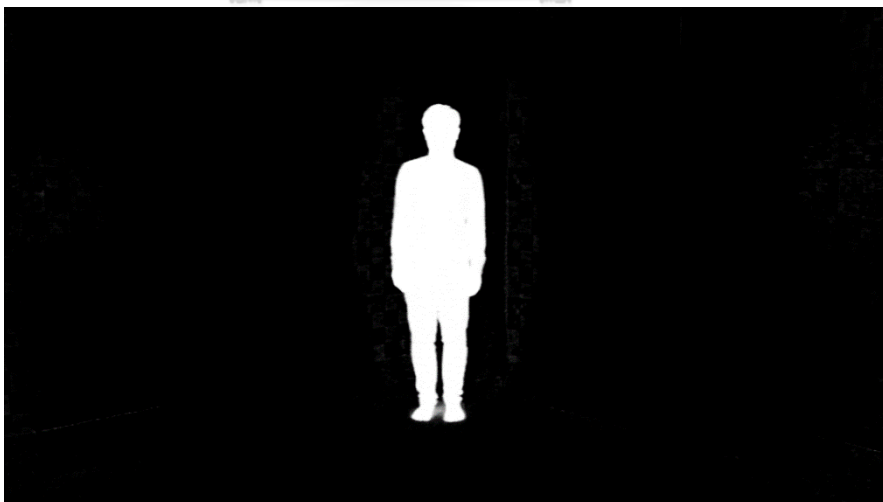
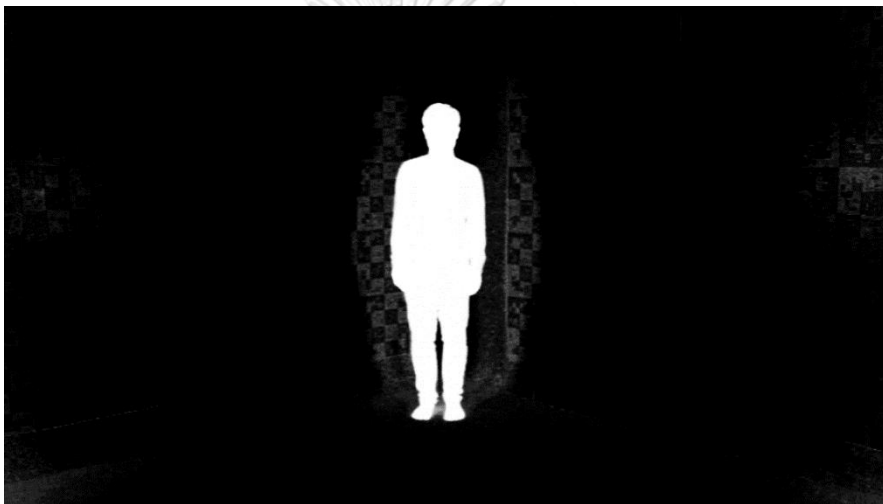
ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการคำนวณใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 100 ภาพ ได้ผลการทดลองตามที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวัดเวลาการคำนวณ

ระเบียบวิธี	Color difference	Our method
เวลา (มิลลิวินาที)	0.12	10.31

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ค่า RMS Error ที่น้อยกว่าขั้นตอนวิธี Color difference ในทุกกรณี ทั้งเทียบเฉพาะตัวนักแสดง, เฉพาะฉากหลัง หรือ ทั้งภาพ และจะส่งผลอย่างมากในสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะนำค่าความต่างสีของพิกเซลรอบข้างมาช่วยในการคำนวณค่า Alpha ของพิกเซลตัวเองด้วย จึงทำให้ในสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอมีเงาเกิดขึ้นเยอะที่ขั้นตอนวิธี Color difference ไม่สามารถจัดการได้ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะสามารถจัดการได้ดีกว่า ดังเช่นตัวอย่างการทดลองตามภาพที่ 38



ภาพที่ 38 รูปการทดลองจากกล้อง VG-NEX30 ในกรณีใส่เสื้อสีดำ, ระยะห่างจากฉากหลัง 80 เซนติเมตร และสภาพแสงไม่สม่ำเสมอ (บน) ภาพจากกล้อง, (กลาง) ขั้นตอนวิธี Color difference, (ล่าง) ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

สำหรับกรณีการใส่เสื้อสีขาวที่เป็นตัวแทนของกลุ่มเสื้อที่มีสีอ่อน ที่มักถูกสีเขียวจากฉากหลังสะท้อนใส่ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวตรงส่วนนี้ได้บ้าง แต่ไม่สามารถแก้ได้ทั้งหมด ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 รูปเฉพาะส่วนจากทดลองจากกล้อง URSA Mini 4.6K ในกรณีใส่เสื้อสีขาว,

ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีการเพิ่มขั้นตอนการคำนวณที่มากขึ้นจากขั้นตอนวิธี Color difference แต่เวลาที่ใช้ก็ยังคงอยู่ในขอบเขตที่สามารถประมวลผลอย่างทันทีได้ (real time) คือ ไม่มากเกิน 20 มิลลิวินาที สำหรับภาพที่ความถี่ 50 ภาพต่อวินาที

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและแนวทางการวิจัยในขั้นถัดไป

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงการแยกฉากหลังบนพื้นหลังสีเขียวไม่สม่ำเสมอแบบทันที ซึ่งเป็นสมารถเข้าไปช่วยเสริมในการถ่ายทำรายการโทรทัศน์ที่ปัจจุบันมีการใช้งานฉากหลังที่เป็นสีเขียวอย่างแพร่หลาย แนวคิดของงานวิจัยนี้อยู่ที่การนำเอาระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณการแยกฉากหลัง โดยนำเอาขั้นตอนวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายแล้วมาพัฒนาเพิ่มเติมเทคนิคต่าง ๆ เข้าไปโดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ปัจจุบันซึ่งมีพลังในการทำงานที่มาก

การปรับปรุงวิธีการดังกล่าว อาศัยแนวคิดสองส่วนคือการพัฒนาทางด้านขั้นตอนวิธี และการนำเอาอุปกรณ์รับรู้ความถี่มาเสริม สำหรับการพัฒนาทางขั้นตอนวิธีนั้น ทางผู้วิจัยได้มีข้อสังเกตว่าขั้นตอนวิธี Color difference นั้นต้องอาศัยพารามิเตอร์ที่สำคัญคือค่าความต่างของสีสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งต้องกำหนดโดยผู้ใช้ ค่าพารามิเตอร์นี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าความถี่ ซึ่งระบุว่าแต่ละจุดสีในภาพนั้นมีความเป็นฉากหลังมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้จะใช้ค่าเดียวกันตลอดทั้งภาพ ในขณะที่บริเวณต่าง ๆ ในภาพนั้นอาจจะมีค่าดังกล่าวที่เหมาะสมแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น บริเวณที่มีความสว่างมาก ค่าที่เหมาะสมก็จะมีค่าที่แตกต่างจากบริเวณที่มีค่าความสว่างน้อย งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเอาขั้นตอนวิธีการประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลมาใช้ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวให้เหมาะสมกับแต่ละบริเวณของภาพ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการดังกล่าวได้กล่าวถึงไว้ในบทที่ 5

ผลลัพธ์จากการนำเอาขั้นตอนวิธีการประมาณค่าความหนาแน่นเคอร์เนลมาใช้นั้นทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น ดังที่เห็นได้จากผลการทดลอง อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยยังเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นยังสามารถปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นไปได้อีก เนื่องจากค่าความถี่ที่ได้มานั้นมีความไม่ราบเรียบที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะใช้ตัวกรองต่าง ๆ มาใช้ในการปรับลดความไม่ราบเรียบเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม จุดที่เป็นจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างฉากหลังกับส่วนที่เป็นนักแสดงนั้นมักจะไม่มีความราบเรียบอยู่แล้ว ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ตัวกรองแบบนำทางซึ่งเป็นตัวกรองที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความราบเรียบมากยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลสีจากภาพนำเข้ามาเป็นตัวนำทางในการปรับความราบเรียบเพิ่มเติม

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นโดยละเอียด โดยมีการวัดระยะเวลาที่ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการทำงาน ได้ข้อสรุปว่าเวลาที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพที่ความละเอียดระดับ Full HD (1920 x 1080) นั้นสามารถทำได้ภายในเวลาที่ต่ำกว่า

16.67 มิลลิวินาทีบนเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะปานกลางในปัจจุบัน ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในการถ่ายทำรายการโทรทัศน์ที่ความละเอียด Full HD ที่ความถี่ 60 เฟรมต่อวินาที และได้ทำการวัดความแม่นยำในการแยกฉากหลัง โดยวัดค่า RMS Error ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น เทียบกับขั้นตอนวิธี Color difference ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบบนตัวแปรต้นต่าง ๆ เช่น สีเสื้อของนักแสดง สภาพแสง คุณภาพของกล้องที่ใช้ และระยะห่างระหว่างนักแสดงกับฉากหลัง โดยได้ข้อสรุปว่าขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นให้ความแม่นยำที่ดีกว่าในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กันเหล่านั้นอย่างเห็นได้ชัด

สำหรับคำแนะนำในการวิจัยในขั้นถัดไป จะเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปผ่านตัวกรอง (Filter) อื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น เช่น Guided filter[19] เป็นต้น, ใช้ข้อมูลอื่น ๆ นอกจากค่าสีมาใช้ในการช่วยคำนวณ เช่น ข้อมูลความลึก เป็นต้น หรือจะเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้รวบรวมมา รวมทั้ง Ground truth ที่ได้สร้างในส่วนของ การทดลองไปเข้ากระบวนการเรียนรู้ด้วยตัวเองของคอมพิวเตอร์ (Machine learning) เพื่อสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ โดยอาจจะใส่ข้อมูลบางอย่างเพิ่มเข้าไป เช่น ค่าสีของฉากหลัง เพื่อให้สร้างแบบจำลองได้รวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] S. Wright, *Digital Compositing for Film and Video*. Elsevier/Focal Press, 2010.
- [2] *Ultimatte 12*. Available: <https://www.blackmagicdesign.com/products/ultimatte>
- [3] J. Wang and M. F. Cohen, "Optimized color sampling for robust matting," in *2007 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'07*, Minneapolis, MN, 2007.
- [4] E. S. L. Gastal and M. M. Oliveira, "Shared sampling for real-time alpha matting," (in English), *Computer Graphics Forum*, Article vol. 29, no. 2, pp. 575-584, 2010.
- [5] E. S. Varnousfaderani and D. Rajan, "Weighted color and texture sample selection for image matting," (in English), *IEEE Transactions on Image Processing*, Article vol. 22, no. 11, pp. 4260-4270, 2013, Art. no. 6548002.
- [6] K. He, C. Rhemann, C. Rother, X. Tang, and J. Sun, "A global sampling method for alpha matting," in *2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2011*, Colorado Springs, CO, 2011, pp. 2049-2056.
- [7] E. Shahrian, D. Rajan, B. Price, and S. Cohen, "Improving image matting using comprehensive sampling sets," in *26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2013*, Portland, OR, 2013, pp. 636-643.
- [8] Z. Zhang, Q. Zhu, and Y. Xie, "Learning based alpha matting using support vector regression," in *2012 19th IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2012*, Lake Buena Vista, FL, 2012, pp. 2109-2112.
- [9] S. M. Yoon and G. J. Yoon, "Alpha matting using compressive sensing," (in English), *Electronics Letters*, Article vol. 48, no. 3, pp. 153-155, 2012.
- [10] J. Johnson, D. Rajan, and H. Cholakkal, "Sparse codes as alpha matte," in *25th British Machine Vision Conference, BMVC 2014*, 2014: British Machine Vision Association, BMVA.
- [11] Y. T. Mishima, JP, "Soft edge chroma-key generation based upon hexoctahedral color space," United States, 1994.

- [12] C. Yung-Yu, B. Curless, D. H. Salesin, and R. Szeliski, "A Bayesian approach to digital matting," in *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, 2001, vol. 2, pp. II-II.
- [13] M. Ashikhmin. (1997). *High quality chroma key*. Available: <http://www.cs.utah.edu/~michael/chroma/>
- [14] 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.
- [15] H. Myeong, S. Lin, and K. M. Lee, "Alpha Matting of Motion-Blurred Objects in Bracket Sequence Images," in *Computer Vision – ECCV 2014*, Cham, 2014, pp. 125-139: Springer International Publishing.
- [16] A. Loktyushin and S. Harmeling, "Automatic foreground-background refocusing," in *2011 18th IEEE International Conference on Image Processing*, 2011, pp. 3445-3448.
- [17] C. Poynton, "Digital Video and HD (Second Edition)," in *Digital Video and HD (Second Edition)*, C. Poynton, Ed. Boston: Morgan Kaufmann, 2012, pp. xxxv-xxxviii.
- [18] S. Wright, *Digital Compositing for Film and Video: Production Workflows and Techniques*. Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.
- [19] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided Image Filtering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, 2013.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วรายุ จรียาวัฒน์รัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	29 สิงหาคม 2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	35/28 ซอยศรีบำเพ็ญ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120
ผลงานตีพิมพ์	Conference of TRS on Robotics and Industrial Technology (CRIT), 2012 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), 2017 Conference of TRS on Robotics and Industrial Technology (CRIT), 2017



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY