



รายงานผลการวิจัย
เรื่อง

ระบบการปรับเท่าภาพสี 3 มิติไม่สัมพันธ์
NON-AFFINE 3D COLOUR-IMAGE EQUALIZATION SYSTEM

โดย
รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2557

ชื่อเรื่อง : ระบบการปรับเท่าภาพสี 3 มิติไม่สัมผัส

ผู้วิจัย : รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : 2557

สถานที่พิมพ์ : ศูนย์วิจัย

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

จำนวนหน้างานวิจัย 66 หน้า

: ศูนย์สนเทศและหอสมุด

คำสำคัญ : 3 มิติ ไม่สัมผัส ปรับเท่า ภาพ สี

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

บทคัดย่อ

การประกอบองค์ประกอบวัตถุในภาพใด ๆ สามารถแสดงความสมนัยต่าง ๆ ได้ งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพินิจวัตถุในแบบจำลองทรงกระบอกปริภูมิ 3 มิติอ้างอิงกับระบบพิกัดเอกพันธ์ ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขลิปซิทซ์และฮิลเดอร์ โดยแสดงความสมนัยหลักมูล ได้แก่ ความเอียง และมุมเอียง และสำหรับพิกัดทรงกระบอกและทรงกลม ปัจจัยพินิจในภาพฉายสัมผัสและไม่มีสัมผัสสามารถปรากฏฉายและวิเคราะห์ ผลที่ได้พบว่าองค์ประกอบสำคัญไวงานของชุดแผนภูมิความถี่ภาพขององค์ประกอบวัตถุในภาพสามารถค้นคืน และความลึกจริงของแกนทรงกระบอกหมุนเทียบกับผู้พินิจสามารถหาได้ในกรณีของภาพปริภูมิ 3 มิติ ภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 4 มิติและ 5 มิติ นอกจากนี้ภาพชุดสีปริภูมิ XYZ จากการแปลงมาตรฐานภาพชุดสีปริภูมิ RGB ตัวอย่างสามารถแสดงถึงความถี่ภาพสีสำคัญ และปัญหาการแข่งขันสองเลนส์สามารถปรับปรุงด้วยจำนวนความแตกต่างจุดภาพของกลุ่มภาพซ้ายขวาที่นำเสนอสำหรับภาพฐาน 3 มิติ

Title : Non-Affine 3D Colour Image Equalization System

Researcher : Assoc. Prof. Dr. Bongkarn Homnan

Institution : Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2014

Publisher : Research Center

Sources : Library And Information Center

No. of pages : 66 pages

Keyword : 3D, Colour, Image, Equalize, Non-Affine

Copyright : Dhurakij Pundit University

Abstract

Assembly object components in any image can give their correspondences. This research is about the inspection of the object in the cylinder 3 dimension model referenced with the homogeneous coordinate system, conformed to Lipschitz and Hölder conditions, giving fundamental correspondences of eccentricity and eccentricity angle. Based on the cylindrical and spherical coordinates, inspected perimeters in affine and non-affine projective views can be projected and analyzed. Results show that active principal components of the image histogram set of object components can be retrieved. In addition, the true depth of the cylinder body of the rotated/rotating object pertaining to the inspector can be determined in cases of images of 3 dimension space, 4 dimension space homogeneous coordinate referenced or 5 dimension space homogeneous coordinate referenced. Additionally, the colour image of XYZ primaries obtained from the standard transformation the example colour image of RGB primaries can illustrate principal components of the colour image histogram. In addition, the problem of binocular rivalry can be improved with the number of pixel difference of left and right images for 3 dimension based image.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญรูปภาพ	(3)
บทที่ 1	
บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
นิยามศัพท์	2
ขอบเขตของการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2	
การปรับเท่าและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ	9
การปรับเท่าภาพ	9
แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและปรภูมิ	10
แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี	12
การปรับเท่าภาพสี	13
ระยะและการระบุพิกัดวัตถุในภาพ	14
การจับคู่สัมพรรค	16
ความไม่ลงรอยสองเลนส์	17
บทที่ 3	
การประมวลผลภาพที่นำเสนอ	19
ชนิดภาพ	19
ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรค	20
องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ	21
การปรับเท่าภาพแบบเลือกส่วนภาพ	21
องค์ประกอบสำคัญไวงานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ	25
องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จำนวนความแตกต่างจุดภาพ	26
บทที่ 4	
ผลการวิจัย	27
ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสัมผัสพรรคและไม่สัมผัสพรรค	27
ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี	31
ผลเปรียบเทียบจำนวนความแตกต่างจุดภาพ 3 มิติ	34
บทที่ 5	
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	38
สรุปผลการวิจัย	38
อภิปรายผล	39
ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	47
ก. กรณีศึกษาการปรับเท่าและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ	48
ข. ชุดตำแหน่งปรภูมิเลอบก	53
ค. เส้นรอบวงของวงรี	55
ประวัติผู้วิจัย	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อักษรย่อและความหมาย	2
1.2 สัญลักษณ์และความหมาย	3
1.3 พิกัดและความหมาย	7
1.4 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	8
4.1 ระดับความเข้มแสงของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีสมนัยของภาพชุด สีปฐมภูมิ RGB และ XYZ ในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ	33

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและ $F(.)$ ของภาพต้นฉบับ I [8]	11
2.2 แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและ $F(.)$ ของภาพใหม่ I' [8]	12
2.3 ตัวอย่างภาพสีต้นฉบับ RGB (ซ้าย) และแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีของภาพสีต้นฉบับโดยใช้ชุดสีปฐมภูมิ RGB (ขวา)--- R (ขวามุมบน) G (ขวามุมกลาง) และ B (ขวามุมล่าง) [16]	13
2.4 ส่วนวงกลมไฮโรเตอร์	18
3.1 แบบจำลองทรงกระบอก 3D	21
3.2 ภาคตัดขวางสำหรับแบบจำลองทรงกระบอก 3D	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันขอบเขต ζ และความเยื้อง ϵ	28
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันขอบเขต ζ และความเยื้อง ϵ ครึ่งแกนรองวงรี b_z มาตรฐาน(normalized) ของภาคตัดทรงกระบอก ความลึกจริงของระนาบพินิจ d_p และมุมพินิจ α_i	28
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงของแกนทรงกระบอกพินิจ D และมุมพินิจ α_i สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี $a_s = 1$ (มาตรฐาน)	29
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A และมุมพินิจ α_i สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี $a_s = 1$ (มาตรฐาน)	29
4.5 ตัวอย่างชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงานของกลุ่มจำนวนจุดภาพจากพื้นที่ระนาบพินิจ A_p และพื้นที่ตามความสูงพินิจ A_h ($h = 5\alpha_s$) โดยอ้างอิงกับมุมพินิจ (หมายเหตุ พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A (มาตรฐาน) กว้างสุดเท่ากับ 1)	30
4.6 ตัวอย่างชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงานของกลุ่มจำนวนจุดภาพจากพื้นที่ไม่สัมผัสระนาบพินิจ $A_{p,nf}$ และพื้นที่ไม่สัมผัสตามความสูงพินิจ $A_{h,nf}$ ($h = 5\alpha_s$) โดยอ้างอิงกับมุมพินิจ (หมายเหตุ พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A (มาตรฐาน) กว้างสุด	

สารบัญรูปภาพ

(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
เท่ากับ 1)	31
4.7 ภาพชุดสีปฐมภูมิ RGB หรือ RGB ประกอบด้วย r g และ b และ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี สมัย ตามลำดับ (จำนวนจุดภาพสีใน แนวตั้งของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีแสดงด้วยจำนวนจุดภาพหรือ อันดับสมาชิกระดับความเข้มแสง LILMO [11])	32
4.8 ภาพชุดสีปฐมภูมิ XYZ ประกอบด้วย x y และ z และแผนภูมิแท่ง ความถี่ภาพสีสมัยตามลำดับ (จำนวนจุดภาพสีในแนวตั้งของ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีแสดงด้วยจำนวนจุดภาพหรืออันดับ สมาชิกระดับความเข้มแสง LILMO [11])	33

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปรับเท่าภาพ (image equalization) นิยมใช้เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพ โดยเฉพาะเมื่อข้อมูลที่ใช้งานได้จากภาพที่มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงความคมชัด โดยการปรับเท่าภาพทำให้ความเข้มแสงสามารถกระจายได้ดียิ่งขึ้นดังแสดงผลประกอบด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ (image histogram) ซึ่งช่วยให้ขอบเขตความคมชัดในบริเวณที่พิจารณาแคบลงจึงส่งผลต่อความคมชัดสูงของภาพ การปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพเป็นประโยชน์สำหรับภาพที่มีพื้นหลัง (background) และพื้นหน้า (foreground) ซึ่งแสดงความสว่างหรือความมืด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ที่เหมาะสมสามารถนำไปสู่คุณภาพของผลการแปลงภาพที่ดีขึ้น เช่น ผลการแปลงภาพจากภาพเอ็กซเรย์ (x-ray) โครงสร้างกระดูกและภาพที่ต้องการรายละเอียดของความเข้มแสง [1]

ประโยชน์ที่สำคัญของการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพคือการหาผลการแปลงและผลการแปลงย้อนกลับได้ [2] ในทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถเพิ่มอัตราเร็วสูงสุดสำหรับการประมวลผลและลดการคำนวณที่ซับซ้อนลงได้ แต่ข้อเสียของวิธีการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพแบบดั้งเดิม [3] [4] ซึ่งไม่พิจารณาการแปลงย้อนกลับ นอกจากนั้นยังมีการเพิ่มความคมชัดของพื้นหลังในขณะที่สัญญาณภาพใช้งานถูกลดระดับความคมชัดลง การตรวจจับภาพและการดำเนินการโดยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจะก่อให้เกิดองค์ประกอบภาพเพี้ยนเนื่องจากการเน้นและไม่เน้น ทั้งนี้ภาพทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงความร้อนภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพเอ็กซเรย์ที่รับได้จะมีสีเพี้ยนไปจากสีจริง โดยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสามารถแสดงผลที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ระดับความเข้มแสงที่ปรากฏของภาพมีความเพี้ยนจากระดับความเข้มแสงลดลง ตัวอย่าง ถ้านำภาพขนาด 8 บิตแสดงด้วยชุดสีปฐมภูมิ (primaries) แดง เขียว น้ำเงิน ภาพขาวดำที่เกิดขึ้นจากภาพชุดสีปฐมภูมิจะแสดงแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ [5] [6] [7] ซึ่งปกติสามารถแสดงระดับความเข้มแสงได้จำนวน 2^8 ระดับ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เสนอวิธีการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่แบบกำหนด (deterministic image histogram) ด้วยการวัดฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมสำหรับภาพสี 3 มิติ
- 2) เสนอวิธีการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ชนิดเพิ่มความยืดหยุ่นทางการประมวลผลและการใช้งานปรภูมิ 3 มิติในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริงโดยพิจารณาระยะมินกอฟสกี (Minkowski distance) สำหรับภาพสี 3 มิติ

นิยามศัพท์

ความหมายของศัพท์ต่าง ๆ ได้แก่ อักษรย่อ สัญลักษณ์ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย ฟังก์ชัน และเลขชี้กำลัง และพิกัดในการจำกัดความเชิงปฏิบัติการสำหรับการวิจัยแสดงในตารางที่ 1.1 ตารางที่ 1.2 และตารางที่ 1.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.1 อักษรย่อและความหมาย

อักษรย่อ	ความหมาย
2D	ปรภูมิ 2 มิติ
3D	ปรภูมิ 3 มิติ
4DH	ภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 4 มิติ
5DH	ภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 5 มิติ
CIE	สมาพันธ์การส่องสว่างนานาชาติ (International Commission on Illumination)
CIE 1931	มาตรฐานการแปลงปรภูมิสี CIE ค.ศ. 1931
HSL	ชุดสีปรภูมิ มุมสี ความอิ่มตัว และความเข้มแสง (Hue angle, Saturation, Lightness)
LIL	ระดับความเข้มแสง (Light Intensity Level)
LILMO	อันดับสมาชิกระดับความเข้มแสง (Light Intensity Level Member Order)
nDH	ภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ n มิติ
RGB	(ชุดสีปรภูมิ) แดง เขียว และน้ำเงิน (Red, Green, Blue)
XYZ	(ชุดสีปรภูมิ) X Y และ Z

ตารางที่ 1.2 สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย
α	มุมความเอียง
α_i	มุมพินิจ โดย $\alpha_i = \alpha$
β	ปัจจัยอัตราส่วน
γ	เลขชี้กำลังการส่องสว่าง โดย γ เท่ากับ 2-3
η	เลขชี้กำลัง
θ	มุมเงย
λ	ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรค
μ	ระดับความหนาแน่นสะสมในช่วง $[0,1]$
ρ	ระยะรัศมี หรือระยะยุคลิดจากแนว Z ถึงจุด P
ϕ	มุมภาคทิศ (azimuth) หรือมุมระหว่างทิศทางอ้างอิงในระนาบพิจารณาและเส้นจากจุดต้นกำเนิดถึงจุดฉาย P บนระนาบ
$u(.)$	ฟังก์ชันไบลิปชิตซ์ (bilipchitz) เช่น ฟังก์ชันระยะ
$\alpha - p$	สมาชิกของเมทริกซ์การจับคู่สัมพรรค
A_0	จุดต้นทางระยะยุคลิด
A_p	พื้นที่ระนาบพินิจ
A_h	พื้นที่ตามความสูงพินิจ
A_U	สัมประสิทธิ์จอภาพ
B	ภาพสีปฐมภูมิน้ำเงิน
b	ภาพสีปฐมภูมิน้ำเงินมาตรฐาน (normalized)
B_0	จุดปลายทางระยะยุคลิด
<i>bottom</i>	ค่ากุดภาคด้านล่างของระนาบใกล้
B_U	ค่าคงที่จอภาพ
c_{RMS}	ความแปรปรวนต่าง (contrast) แสดงรากเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square) ของภาพที่มีความกว้างภาพ M ความยาวภาพ N โดย $c_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I(i,j) - \bar{I})^2}$ และ $l = l_u + 1$
c_v	ความแปรปรวนร่วม โดย $c_v = \frac{1}{n_a} \sum_{i=1}^{n_a} (d_i - \bar{d}_i)(d_{i+v} - \bar{d}_i)$ สามารถใช้ในการประมาณอัตราสหสัมพันธ์ และประยุกต์ใช้ในแผนภูมิสถิติสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงอัตราสหสัมพันธ์-เวลาเลื่อนล้ำหลังเพื่อตรวจสอบความสุ่มในชุดข้อมูลซึ่ง c_v จะเข้าใกล้ศูนย์กรณีที่ข้อมูลมีระดับความสุ่มสูงโดยไม่ขึ้นกับเวลาเลื่อนล้ำหลัง

สัญลักษณ์	ความหมาย
d	ระยะกลาง
$d_{a,b}$	การกระจัด (displacement) ระหว่างตำแหน่ง a และ b
d_L	ระยะของจุดจดทะเบียนในภาพซ้าย I_L
d_{Mink}	ระยะมินกอร์สกี
d_R	ระยะของจุดจดทะเบียนในภาพขวา I_R
d_t	ข้อมูลเชิงเวลา
$E(.)$	การปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ของภาพต้นฉบับ I ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง I และตัวแปรตามคือความถี่ f_i
$F(.)$	ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมซึ่งตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง I
f_i	ความถี่ของอันตรภาคชั้น i
F_{min}	ความถี่สะสมต่ำสุด
$f(.)$	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นซึ่งตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง I ใน ปรภูมิ L^p โดยฟังก์ชัน $f(x = I)$ สามารถหาค่าได้ ในปรภูมิลูกศรสมมติ (vector) รูปแบบการเชื่อมต่อ (topology) S
$f'(.)$	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นใหม่
far	ค่ากฤตภาคไกลของระนาบไกล
far_i	ระยะไกลพินิจปรับเทียบแล้ว
f_i	ความถี่ของระดับความเข้มแสง I
$\ f\ _p$	ขนาดฟังก์ชันในปรภูมิเลอบเกฐานเลขชี้กำลัง p
G	ภาพสีปฐมภูมิเขียว
g	ภาพสีปฐมภูมิเขียวมาตรฐาน
$g(.)$	ฟังก์ชันกำหนดระดับความเข้มแสงซึ่งตัวแปรต้นคือความส่องสว่างของพื้นที่หนึ่งหน่วยภาพ I_U และมาตราส่วนวรรณะสี (tone) ในภาพเชิงเลขที่ใช้ในจอภาพโทรทัศน์สามารถอธิบายด้วยสมการ $L_U = A_U (I_U^{1/\gamma} + B_U)^\gamma$
$H(.)$	ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมซึ่งตัวแปรต้นคือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น $f(.)$
$\ H\ _p$	ขนาดฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมในปรภูมิเลอบเกฐานเลขชี้กำลัง p
I	ภาพต้นฉบับ
I'	ภาพใหม่
I^t	ภาพแสงกระทบ
$I_L(.)$	ภาพซ้าย

สัญลักษณ์	ความหมาย
$I_R()$	ภาพขาว
K	ค่าคงที่ลิปชิตซ์ และ $K \in \mathbb{R}$
k	ค่าคงที่
K''	ค่าคงที่ฮิลเดอ์
k_i	จำนวนอันตรภาคชั้น
$K_p(.)$	ฟังก์ชันจับคู่เชิงเส้นของอสมการฮิลเดอ์จาก $L^q(x)$ ไปยัง $L^p(x)$:
$L(.)$	การแปลงเชิงเส้น
L^p	ปรภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลังปรภูมิ p
L_D	ความสว่างจอภาพ
I	ระดับความเข้มแสง โดย $I(x,y)$ คือระดับความเข้มแสงในพิกัดคาร์ทีเซียน 2D
I'	ระดับความเข้มแสงใหม่
I_{max}	ระดับความเข้มแสงอ่อนสุด
I'_{max}	ระดับความเข้มแสงใหม่อ่อนสุด
I_{min}	ระดับความเข้มแสงคล้ำสุด
I'_{min}	ระดับความเข้มแสงใหม่คล้ำสุด
I_D	ความส่องสว่าง (illuminance) ของพื้นที่หนึ่งหน่วยภาพ
I'_x	ระดับความเข้มแสงใหม่ของ X
M	ความกว้างภาพ
N	ความยาวภาพ
n	มิติปรภูมิ
$near$	ค่ากฏทัศนใกล้ของระนาบใกล้
$near_i$	ระยะใกล้พินิจปรับเทียบแล้ว
n_d	ลำดับข้อมูล
n_d	จำนวนความแตกต่างจุดภาพ
$n_{d,min}$	จำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้ต่ำสุด
$n_{d,max}$	จำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้สูงสุด
n_p	จำนวนจุดภาพซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพที่มีจำนวนอันตรภาคชั้น k_i โดย $n_p = \sum_{i=1}^{k_i} f_i$
p	เลขชี้กำลังปรภูมิ
$P(.)$	การจัดระดับความเข้มแสง I
$P'(.)$	การจัดระดับความเข้มแสงใหม่ I'

สัญลักษณ์	ความหมาย
R	ภาพสีปฐมภูมิแดง
r	ภาพสีปฐมภูมิแดงมาตรฐาน
r_0	รัศมีพื้นที่หน้าตัดวงกลม
r_d	เลขชี้กำลังผลต่างระยะ
RGB	ภาพสีต้นฉบับสำหรับชุดสี RGB
RGB'	ภาพสีใหม่
$right$	ค่ากฤตภาคด้านขวาของระนาบใกล้
R^n	จำนวนจริงมิติปริภูมิ n
r_g	รัศมีทรงกลม
top	ค่ากฤตภาคด้านบนของระนาบใกล้
$u(.)$	ฟังก์ชันขึ้นหนึ่งหน่วย
v	เวลาเลื่อนล้ำหลัง
w	สมาชิกเพิ่มเติมของเมทริกซ์การจับคู่สัมพรรค
X	ปัจจัยขาเข้าหลักโดยกำหนดตามรูปแบบ
x	ปัจจัยขาเข้าโดยกำหนดตามรูปแบบ
$x' - z'$	ปัจจัยขาออกเนื่องจากปัจจัยขาเข้า $x - z$ สมัย
x'_d	จุดช่วงกลางแนว X
x'_i	จุดพินิจแนว X
$\ x\ _p$	ขนาดปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p
XYZ	ภาพสีสำหรับชุดสีปฐมภูมิ XYZ
y'_d	จุดช่วงกลางแนว Y
y'_i	จุดพินิจแนว Y
z	พิกัด z ของระนาบภาพซึ่งเส้นปกติชี้ไปยัง $z = 0$

ตารางที่ 1.3 พิกัดและความหมาย

พิกัด	ความหมาย
(I_L, I_R)	คู่ภาพซ้ายขวา
(R, G, B)	พิกัดจุดภาพชุดสีปฐมภูมิ RGB
(x, y)	พิกัดคาร์ทีเซียน 2D
(x, y, z)	พิกัดจุดภาพชุดสีปฐมภูมิ XYZ
(x, y, z, w)	พิกัดคาร์ทีเซียน 4DH
(X_L, Y_L, Z_L)	พิกัดกล้องถ่ายภาพซ้าย
(X_R, Y_R, Z_R)	พิกัดกล้องถ่ายภาพขวา

ขอบเขตของการวิจัย

เน้นการประยุกต์ใช้กับภาพไม่สัมพรรคและชุดสีปฐมภูมิเพื่อให้สิ่งแวดล้อมเสมือนจริงใกล้เคียงกับภาพจริงจากผลของคุณลักษณะทัศนียภาพ โดยมีเงื่อนไขตามลำดับ

1. สมมติฐานการวิจัย

สัญญาณรบกวนภาพจำกัด

2. ข้อจำกัดของการวิจัย

เหมาะสมกับภาพแสดงความเข้มแสง

3. ข้อตกลงเบื้องต้น

ใช้ชุดสีปฐมภูมิ RGB

4. ระยะเวลาและแผนการดำเนินงานทำการวิจัย

การวิจัยกำหนดระยะเวลาและแผนการดำเนินงานแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	หมายเหตุ
กิจกรรม									
1) ศึกษาค้นคว้า	■	■							เริ่มวิจัย 1 มี.ค. 2557 สิ้นสุดวิจัย 1 พ.ย. 2557
2) เตรียมเครื่องมือฯ			■	■					
3) วัดและวิเคราะห์ข้อมูล				■	■	■	■		
4) ปรับแก้และควบคุมการทดลอง				■	■	■	■		
5) รวบรวมผล					■	■	■		
6) วิเคราะห์และสรุป							■	■	
7) เขียนรายงาน	■	■					■	■	

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพิ่มสมรรถนะการปรับความเปรียบต่างและเพิ่มสมรรถนะการปรับความเข้มแสงโดยวิธีการปรับ
เท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพชนิดเพิ่มความยืดหยุ่นทางการประมวลผลและการใช้งาน 3D จากการ
พิจารณา [d-link](#) สำหรับภาพชุดสี 3D

บทที่ 2

การปรับเท่าและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ

บทที่ 2 การปรับเท่าและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ อธิบายหัวข้อต่าง ๆ ตามลำดับ ได้แก่ การปรับเท่าภาพ ปริภูมิภาพ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพ การปรับเท่าภาพซึ่งใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพบนพื้นฐานระดับความเข้มแสง แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี่ซึ่งขยายขอบเขตจากแผนภูมิแท่งความถี่ภาพโดยใช้ชุดสีปฐมภูมิแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) และการระบุพิกัดวัตถุในภาพซึ่งใช้พื้นฐานจากปริภูมิภาพ

การปรับเท่าภาพ

การปรับเท่าภาพ (image histogram) บนพื้นฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสามารถแสดงขอบเขตความคมชัดในบริเวณที่พิจารณาเฉพาะโดยจำกัดบริเวณที่พิจารณาให้แคบลงได้ จึงส่งผลให้ความคมภาพสูงขึ้น สมการการปรับเท่าภาพบนพื้นฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับภาพขาวออก [4] [8] สามารถแสดงด้วยสมการ

$$P'(I) = P(E(I)) \quad (2.1)$$

โดยที่

f_i	คือความถี่ของระดับความเข้มแสง I
I	คือภาพต้นฉบับ
$E(.)$	คือการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ของภาพต้นฉบับ I ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง I และตัวแปรตามคือความถี่ f_i
$P(.)$	คือการจัดระดับความเข้มแสง และ
$P'(.)$	คือการจัดระดับความเข้มแสงใหม่

เงื่อนไขของ (2.1) คือภาพต้นฉบับ I ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ และหากการจัดระดับความเข้มแสง $P(.)$ เป็นการดำเนินการเอกลักษณ์ (identity) ซึ่งตัวแปรตามไม่เปลี่ยนแปลงจากตัวแปรต้น ภาพผลลัพธ์จึงขึ้นกับการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ $E(.)$ และสามารถด้วยสมการ

$$I' = E(I). \quad (2.2)$$

โดยที่

I'	คือภาพใหม่
------	------------

(2.1) และ (2.2) ส่งผลโดยรวมต่อการเปลี่ยนแปลงภาพ และโดยทั่วไปแล้วการใช้การจัดระดับสี $P(.)$ และการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ $E(.)$ จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ $E(.)$ เพียงการดำเนินการเดียว เนื่องจาก $E(.)$ ใช้เพื่อเน้นความคมชัดส่วนภาพมากกว่าความคมชัดภาพโดยรวม และ $E(.)$ สามารถเพิ่มการดำเนินการเพื่อเน้นความคมชัดส่วนภาพแบบปรับตัว ส่งผลให้ $E(.)$ ได้รับการนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทางชีวภาพเพื่อเพิ่มความชาญฉลาดแก่ระบบ

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและปรภูมิ

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพมาตรฐาน (normalized) นิยมใช้แสดงระดับคล้ำสี (shade) เนื่องจากระดับความเข้มแสง [1] และสามารถแสดงข้อมูลต่อเนื่องของภาพจากการอนุพันธ์ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม [5] [9] [10] โดยฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมแสดงด้วยสมการ

$$H(f(l)) = \mu, \quad l \geq g(l_u). \quad (2.3)$$

โดยที่

μ	คือระดับความหนาแน่นสะสมในช่วง $[0,1]$
$H(.)$	คือฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมซึ่งตัวแปรต้นคือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น $f(.)$
$f(.)$	คือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นซึ่งตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง l ในปร-ภูมิ L^p ---ฟังก์ชัน $f(x = l)$ สามารถหาค่าได้ ในปรภูมิลูกศรสมมติ (vector) รูปแบบการเชื่อมต่อ (topology) S
$g(.)$	คือฟังก์ชันกำหนดระดับความเข้มแสงซึ่งตัวแปรต้นคือความส่องสว่างของพื้นที่หนึ่งหน่วยภาพ l_u และมาตราส่วนวรรณะสี (tone) ในภาพเชิงเลขที่ใช้ในจอภาพโทรทัศน์ สามารถอธิบายด้วยสมการ $L_U = A_U (l_U^{1/\gamma} + B_U)^\gamma$
L	คือปรภูมิเลอเบก (Lebesgue space)
n	คือมิติปรภูมิ
p	คือเลขชี้กำลังปรภูมิ

(2.3) สามารถหาขอบเขตชุดของจุด (locus) สำหรับวัตถุในภาพที่ระบุระดับความเข้มแสง l ของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม $H(.)$ ซึ่งขนาดฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมของฟังก์ชันระบุระดับความเข้มแสง l ในปรภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p หรือ $\|H\|_p$ ด้วยสมการ

$$\|H(f(l))\|_p = \|f(l)\|_p, \quad H(f(l)) = \int_l f(l) dl \quad (2.4)$$

โดยที่

$\ f\ _p$	คือขนาดฟังก์ชันในปรภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p
-----------	---

ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น $f(l)$ ของภาพต้นฉบับ I จึงสามารถแสดงจากการอนุพันธ์ฟังก์ชันต่าง ๆ ด้วยสมการ

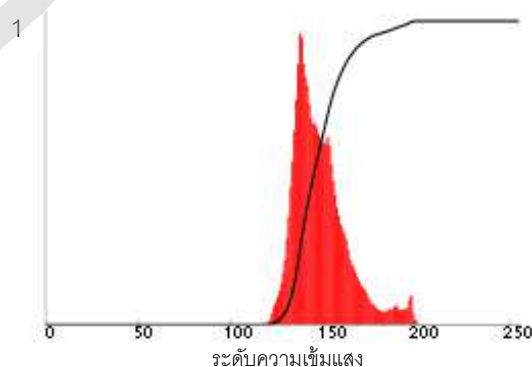
$$f(l) = \frac{dH(f(l))}{df} \cdot \frac{df(l)}{dl} = \frac{dH(f(l))}{dl} = \frac{dF(l)}{dl} \quad (2.5)$$

โดยที่

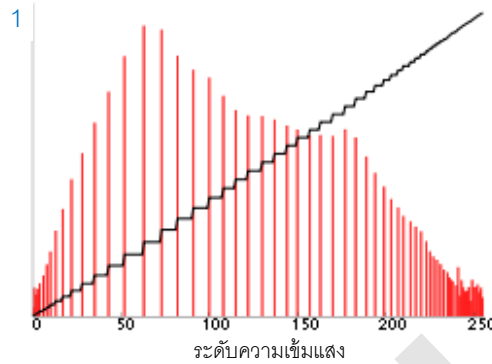
$F(.)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมซึ่งตัวแปรต้นคือระดับความเข้มแสง l

อ้างอิงจาก (2.1) และ (2.5) เมื่อมีปรับเท่าฐานภาพจากการจัดระดับความเข้มแสงใหม่ $P'(.)$ ภาพใหม่ I' ที่เกิดขึ้นจึงมีผลต่อฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม $F(.)$ ซึ่งอธิบายด้วยกรณีศึกษาในภาคผนวก ก และอ้างอิงจาก (2.3) เนื่องด้วยพิสัยระดับความหนาแน่นสะสม μ อยู่ในช่วง $[0, 1]$ ดังนั้นจึงสามารถแสดงความสัมพันธ์ของภาพต้นฉบับ I และภาพใหม่ I' ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เกี่ยวข้องกับวิธีการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่แบบกำหนดด้วยการวัดฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม [4] [8]

ตัวอย่างที่ ก.2 ในภาคผนวก ก แสดงการประยุกต์ (ก.5) แก่ภาพต้นฉบับ I โดยสามารถแสดงผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพต้นฉบับ I และแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพใหม่ I' ในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2 ตามลำดับ ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม $F(.)$ ในภาพที่ 2.1 เพิ่มขึ้นจาก 0 จนถึง 1 อย่างรวดเร็วจากผลรวมของความถี่แผนภูมิแท่งความถี่ค่าสูงซึ่งระดับความเข้มแสง l อยู่ในช่วง $[1, l_{max}] = [1, 256]$ โดยผ่านกระบวนการมาตรฐาน (normalized process) ทั้งนี้ ความถี่แผนภูมิแท่งความถี่ภาพของ I คือจำนวนจุดภาพที่มีระดับความเข้มแสงเท่ากับ l ในภาพ อย่างไรก็ตามฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม $F(.)$ ในภาพที่ 2.2 เพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นจากผลของการควบคุมด้วย (ก.5) ซึ่งจุดภาพของระดับความเข้มแสงใหม่ I' ได้รับการแจกแจงในช่วง $[1, l_{max}] = [1, 256]$ โดยผ่านกระบวนการมาตรฐานเช่นกัน



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและ $F(.)$ ของภาพต้นฉบับ I [8]



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิแท่งความถี่ภาพและ $F(.)$ ของภาพใหม่ I' [8]

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี

องค์ประกอบสีในภาพ โดยเฉพาะภาพสีเชิงเลข สามารถใช้แผนภูมิแท่งความถี่ของชุดสีปฐมภูมิ โดยประยุกต์จากแผนภูมิแท่งความถี่ภาพซึ่งใช้ระดับความเข้มแสง I และความถี่ของระดับความเข้มแสง f_I ดังนั้นแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีจึงประกอบด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพในจำนวนเท่ากับชุดสีปฐมภูมิที่กำหนด [3] [7] [11] [12] เพื่อแสดงองค์ประกอบสีคุณภาพของภาพ

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีสามารถแสดง [11] ส่วนภาพสีใด ๆ ด้วยชุดสีปฐมภูมิซึ่งประกอบด้วยสีปฐมภูมิ (primary) จำนวน 3 องค์ประกอบสีได้แก่ สีปฐมภูมิแดง สีปฐมภูมิเขียว และสีปฐมภูมิน้ำเงิน (Red, Green, Blue) หรือ RGB นอกจากนี้ชุดสีปฐมภูมิสามารถแสดงด้วยชุดสีปฐมภูมิอื่น เช่น ชุดสีปฐมภูมิซึ่งประกอบด้วยมุมสี ความอิ่มตัว และความเข้มแสง (Hue angle, Saturation, Lightness) หรือ HSL [13] หรือชุดสีปฐมภูมิซึ่งประกอบด้วย X Y และ Z หรือ XYZ เป็นต้น ดังนั้นคุณภาพในภาพจึงสามารถแสดงด้วยชุดสีปฐมภูมิสำหรับช่วงสีปรากฏ และตัวอย่างที่ ก.6 ในภาคผนวก ก อธิบายการใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีด้วยองค์ประกอบสีปฐมภูมิในชุดสีปฐมภูมิซึ่งสัมพันธ์กับแถบแสงแยกสี (spectrum)

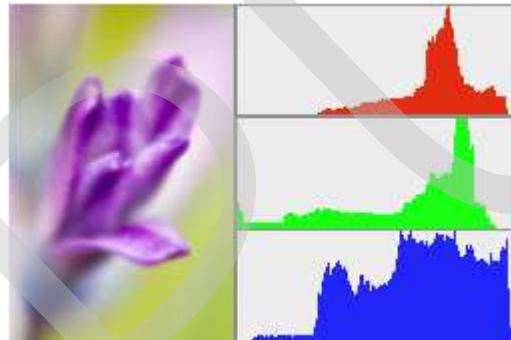
กรณีทีสีปฐมภูมิปรากฏในแถบแสงแยกสีมีขนาดแถบแคบ จึงสะดวกต่อการนับจำนวนคุณภาพของภาพทั้งหมด n_p และสามารถจัดแบ่งส่วนภาพในจำนวนที่เหมาะสมโดยสัมพันธ์กับระดับสีซึ่งประกอบด้วยระดับคล้ำสี (shade) และระดับอ่อนสี (tint) ขึ้นกับคุณลักษณะของภาพ ดังนั้นส่วนประกอบภาพที่จัดอยู่ในระดับสีเดียวกันจึงแสดงด้วยแท่งความถี่เดียวกันในแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีของสีปฐมภูมิทั้ง 3 องค์ประกอบสีซึ่งแสดงความถี่ทั้งหมดเท่ากับ $3n_p$ และตัวอย่างการแปลงปรภูมิ (space transformation) RGB ไปยัง XYZ ตามมาตรฐานสมาพันธ์การส่องสว่างนานาชาติ (International Commission on Illumination) หรือ CIE เช่น มาตรฐานการแปลงปรภูมิสี CIE ค.ศ. 1931 หรือ CIE 1931 [14] [15] สามารถแสดงด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4185 & -0.1587 & -0.0828 \\ -0.0912 & 0.2524 & 0.0157 \\ 0.0009 & -0.0025 & 0.1786 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

การปรับเท่าภาพสี

การใช้ฟังก์ชันเพื่อเน้นความโค้งเว้าแก่แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี สามารถปรับเท่าภาพสีได้อย่างยืดหยุ่น แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีจึงนิยมใช้เป็นแผนภูมิเชิงสถิติที่สามารถแสดงและประมาณการแจกแจงจุดภาพในช่วงระดับสีที่กำหนดแก่สีปฐมภูมิดังแสดงในตัวอย่าง ก.6

โครงสร้างองค์ประกอบสีในชุดสีปฐมภูมิสามารถแสดงภาพสีได้อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นการแสดงภาพสีด้วยพิกัดคาร์ทีเซียนชุดสีปฐมภูมิ ซึ่งโดยปกติแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีของภาพสีต้นฉบับ **RGB** จำนวน 3 แผนภูมิแสดงผลแตกต่างกันเนื่องจากการตอบสนองต่อแสงที่แตกต่างกันของความยาวคลื่นและภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิแดง **R** ซึ่งมีแนวโน้มของแท่งความถี่คล้ายคลึงกับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิเขียว **G** โดยการแจกแจงจุดภาพของแท่งความถี่ต่างจากแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิน้ำเงิน **B** อย่างชัดเจน



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างภาพสีต้นฉบับ **RGB** (ซ้าย) และแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีของภาพสีต้นฉบับ โดยใช้ชุดสีปฐมภูมิ RGB (ขวา)--- **R** (ขวบน) **G** (ขวากลาง) และ **B** (ขวาล่าง) [16]

เนื่องด้วยภาพสีประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบภาพ และองค์ประกอบสี เป็นต้น การนำเสนอกรรมวิธีเพื่อได้มาซึ่งสารสนเทศตามวัตถุประสงค์จึงเป็นประโยชน์ต่อเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ยกตัวอย่างเช่น การวิยุต (discretization) มีวัตถุประสงค์เพื่อเฟ้นกลุ่มจุดภาพสี การแบ่งนับ (quantization) มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงจุดภาพสีเชิงเลข การเพิ่ม/ลดระดับความเข้มแสง [4] เพื่อศึกษาคุณลักษณะภาพหรือแสดงภาพสีใหม่ **RGB'** ด้วยความคมชัดภาพตามวัตถุประสงค์ และการจัดกลุ่มระดับความเข้มแสงแบบคงตัวและแบบปรับตัววัตถุประสงค์เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลภาพ อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาการประมวลผลภาพสำหรับการปรับเท่าภาพสี เช่น การจัดกลุ่มระดับความเข้มแสงที่ไม่เหมาะสม ปรากฏความผิดพลาดจากภาพสีต้นฉบับ **RGB** มีโอกาส [4] แสดงผลแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิแดง **R** เช่นเดียวกับกับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิเขียว **G** เป็นต้น ดังนั้นการพิจารณาสิ่วัตถุที่ปรากฏในภาพโดยคำนึงถึงรายละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ [17] [18] เช่น พิกัด พื้นผิว หรือรูปทรงวัตถุสามารถเพิ่มการพิจารณามิติ [19] ของวัตถุจึงบรรเทาปัญหาการปรับเท่าภาพสีลงได้

ระยะและการระบุพิกัดวัตถุในภาพ

การระบุพิกัดวัตถุใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมในการควบคุมตำแหน่งวัตถุ โดยปัญหาสำคัญเกิดจากระบบการอ้างอิงตำแหน่งในพิกัดมาตรฐานของวัตถุ [20] [21] ยังไม่สามารถแสดงค่าได้แน่นอน และในกรณีภาพ การหมุนรอบแกนพิกัดจุดภาพสามารถระบุพิกัดวัตถุได้โดยการอ้างอิงกับพิกัดมาตรฐาน [21] ซึ่งตำแหน่งวัตถุที่แตกต่างกันมีผลต่อแผนภูมิแท่งความถี่ภาพที่แตกต่างกัน และชุดสีปฐมภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีที่แตกต่างกัน

ปัจจัยสำคัญในการระบุพิกัดวัตถุในสิ่งแวดล้อมจริงและสิ่งแวดล้อมเสมือนคือระยะ หัวข้อนี้แบ่งระยะออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระยะยูคลิดี언 (Euclidean distance) ซึ่งปกติใช้ระบุพิกัด และระยะมินกอฟสกี (Minkowski distance) ซึ่งนิยมใช้ในปรกฏมิติสัมพันธ์ [22] [23]

1. ระยะยูคลิด

ระยะกำลังสองและแผนภาพสหสัมพันธ์ (correlogram) เริ่มนำมาใช้ในการวิจัยความสัมพันธ์ [23] ระหว่างข้อมูลภาพเพื่อหาสีค่ากลางของวัตถุในภาพ รวมถึงระดับความเข้มแสงที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้สามารถแสดงสัดส่วนที่ปรากฏของสีต้น (hue) และแสงของวัตถุได้ดีขึ้น นอกจากนี้ระยะกำลังสองและแผนภาพสหสัมพันธ์ยังสามารถประมาณความขรุขระของพื้นผิวและรูปทรงเรขาคณิตของวัตถุในภาพได้ดีขึ้นเช่นกัน

ระยะยูคลิด (Euclidean distance) [22] แสดงด้วยระยะกำลังสอง สามารถใช้คำนวณคะแนนความเหมือนกันของภาพได้ นอกจากนี้การใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีและระยะยูคลิด [12] สามารถคำนวณความสัมพันธ์คู่สีสำหรับคู่จุดภาพสี ดังนั้นความสัมพันธ์คู่สีทั้งหมดของจุดภาพสีจึงแสดงด้วยเมทริกซ์ความสัมพันธ์คู่สีได้ อนึ่งการเพิ่มสมาชิกในเมทริกซ์ความสัมพันธ์คู่สีของพื้นที่ประชิดในภาพจะให้ผลการเปรียบเทียบภาพได้ดีขึ้น และการเพิ่มขั้นตอนด้วยการกำหนดใช้เวกเตอร์สุ่มมิติสูง (random vector) ในจากการวิจัยเพื่อหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของเมทริกซ์ความสัมพันธ์คู่สีจะให้ผลค่ากลางที่ดีกว่าตัวชี้วัดที่มีการนำเสนอมาแล้ว

เพื่อแสดงขอบเขตในปรกฏยูคลิดจึงมีการกำหนดเงื่อนไขฮิลเดอร์ (Hölder condition) [24] และเงื่อนไขลิปชิตซ์ (Lipchitz condition) [25] ตามลำดับด้วยเงื่อนไข

$$K \geq \frac{d_u(x_1, u(x_2))}{d_{x_1, x_2}} \geq 0. \quad (2.7)$$

โดยที่

K	คือค่าคงที่ลิปชิตซ์ และ $K \in \mathbb{R}$
$d_{a,b}$	คือการกระจัด (displacement) ระหว่างตำแหน่ง a และ b
$u(.)$	คือฟังก์ชันลิปชิตซ์ (bilipchitz) เช่น ฟังก์ชันระยะ
x	ปัจจัยขาเข้าโดยกำหนดตามรูปแบบ

การกำหนดค่า x และ y ในอาณาจักร p เมื่อ $x = 1$ จะสอดคล้องกับเงื่อนไขลิปชิตซ์ [25] ซึ่งอาณาจักร p ถูกจำกัดด้วยพื้นที่ภายในขอบเขตที่เหมาะสม และเมื่อ $\alpha = 0$ ฟังก์ชันแสดงจะอยู่ภายในขอบเขต ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขฮิลเดอร์ [26]

ความต่อเนื่องลิปชิตซ์ในลายเส้นในภาพ 3 มิติสามารถแสดงด้วยสมการลายเส้นในภาพ 2 มิติได้ โดยมีเงื่อนไขเหมาะสม ดังนั้นการแสดงลายเส้นด้วยเส้นโค้งสามารถแสดงด้วยพิกัดตำแหน่งโดยมีเงื่อนไข

$$K^\eta \geq \frac{d_{\eta}(x_1, x_2)}{d_{x_1, x_2}} \geq 0. \quad (2.8)$$

โดยที่

η	คือเลขชี้กำลัง
K^η	คือค่าคงที่ฮิลเดอร์

ฟังก์ชันแสดงชุดของจุดของ 2D หรือ $x \rightarrow f(x)$ จะมีความต่อเนื่องเมื่อสามารถหาค่า K ในอาณาจักร x ได้ นอกจากนี้การแสดงลายเส้นด้วยเส้นโค้งสามารถแสดงด้วยพิกัดตำแหน่งโดยมีเงื่อนไข [25]

ทั้งนี้ $f(x)$ มีคุณสมบัติสมานสัณฐาน (homeomorphism) [27] ซึ่งแสดงการแปลงต่อเนื่องเชิงการกระจัดไปกลับระหว่างภาพต้นฉบับ I ไปยังภาพใหม่ I' โดยนิยามกำหนดฟังก์ชันไปลิปชิตซ์ของ I ด้วยคุณสมบัติสมสัณฐาน (isomorphism) ในปริภูมิเมตริกซ์

2. ระยะมินกอร์สกี

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีดั้งเดิมได้รับการพัฒนาด้วยการใช้ความลาดชัน (gradient) เรียกว่าแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีไม่แปรค่าเพื่อแสดงพื้นที่ที่มีความใกล้เคียงและแตกต่างกัน [28] นอกจากนี้ยังมีการใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีระบบตรรกศาสตร์วิชันนัย (fuzzy logic) จำนวน 10 อันตรภาคชั้น (bins) เพื่อปรับปรุงการประมวลผลภาพให้ละเอียดขึ้น โดยการใช้ฟังก์ชันสมาชิกและระยะมินกอร์สกี (Minkowski) d_{Mink} ซึ่งเป็นชุดควบคุม (superset) ของระยะยูคลิดในการเปรียบเทียบ และ d_{Mink} ขนาด n มิติระหว่างจุด A_0 และ B_0 [21] [23] สามารถแสดงด้วยสมการ

$$A_0 = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in R^n. \quad (2.9)$$

$$B_0 = (b_1, b_2, \dots, b_n) \in R^n. \quad (2.10)$$

$$d_{Mink} = (\sum_{i=1}^n |a_i - b_i|^{r_d})^{1/r_d}. \quad (2.11)$$

โดยที่

p	คือเลขชี้กำลังปริภูมิ หรือปัจจัยมินกอร์สกี
r_d	คือเลขชี้กำลังผลต่างระยะ โดยปกติ $r_d = \frac{1}{p}$ และ
R^n	คือจำนวนจริงมิติปริภูมิ n

d_{Mink} กำหนดใช้ค่า $r_d = 1$ สำหรับระยะแมนฮัตตัน (Manhattan) และ $p = 2$ สำหรับระยะยุคลิด ส่วน p เข้าใกล้ค่าอนันต์ใช้สำหรับระยะเชบิเชฟ (Chebyshev) แสดงด้วยสมการ

$$\lim_{p \rightarrow \infty} d_{Mink} = \max_{i=1}^n |a_i - b_i| \quad (2.12)$$

$$\lim_{p \rightarrow -\infty} d_{Mink} = \min_{i=1}^n |a_i - b_i| \quad (2.13)$$

การจับคู่สัมพรรค

โดยทั่วไปแล้วการแปลงเชิงเส้น (Linear transformation) ของปัจจัยขาเข้า x หรือ $L(x)$ สามารถแสดงด้วยสมการ

$$L(x_1 + x_2) = L(x_1) + L(x_2) \quad (2.14)$$

การฉายภาพของวัตถุสามารถอธิบายโดยการจับคู่สัมพรรคร่วมใน 4DH [20] [29] [30] [31] และแสดงด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & e & j \\ c & d & f & k \\ g & h & i & l \\ m & n & o & p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

β คือปัจจัยอัตราส่วน ปกติแล้ว $\beta = 2$

$a - p$ คือสมาชิกของเมทริกซ์การจับคู่สัมพรรคโดย

$$\begin{aligned} a &= \frac{\beta \text{near}}{\text{right-left}}, & b &= 0, & c &= 0, & d &= \frac{\beta \text{near}}{\text{top-bottom}}, \\ e &= \frac{\text{right+left}}{\text{right-left}}, & f &= \frac{\text{top+bottom}}{\text{top-bottom}}, & g &= 0, & h &= 0, \\ i &= -\frac{\text{far+near}}{\text{far-near}}, & j &= 0, & k &= 0, & l &= -\beta \frac{\text{far-near}}{\text{far-near}}, \\ m &= 0, & n &= 0, & o &= -1, & \text{และ } p &= 0 \end{aligned}$$

bottom คือค่ากฤตภาคด้านล่างของระนาบใกล้

far คือค่ากฤตภาคไกลของระนาบไกล

near คือค่ากฤตภาคใกล้ของระนาบใกล้

right คือค่ากฤตภาคด้านขวาของระนาบใกล้

top คือค่ากฤตภาคด้านบนของระนาบใกล้

w คือสมาชิกเพิ่มเติมของเมทริกซ์การจับคู่สัมพรรค และ

$x' - z'$ คือปัจจัยขาออกเนื่องจากปัจจัยขาเข้า $x - z$ สมัย

แถวแรกของ (2.15) $a = \frac{\beta \text{near}}{\text{right-left}}, b = 0, e = \frac{\text{right+left}}{\text{right-left}}$ และ $j = 0$ ใช้ตัวหารเดียวกัน

คือ $right - left$ โดย a แสดงอัตราส่วนจุด x และ e แสดงการเลื่อนจุด z ในทำนองเดียวกันแถวที่สองของ (2.15) $c = 0, d = \frac{\beta_{near}}{top-bottom}, f = \frac{top+bottom}{top-bottom}$ และ $k = 0$ ใช้ตัวหารเดียวกันคือ $top - bottom$ โดย d แสดงอัตราส่วนจุด y และ f แสดงการเลื่อนจุด z

แถวที่สามของ (2.15) ให้ผลการแปลงของ z' ซึ่งตั้งฉากกับระนาบ $x' - y'$ ด้วยสมาชิก $g = 0, h = 0, i = -\frac{far+near}{far-near}$ และ $l = -\beta \frac{far+near}{far-near}$ ใช้ตัวหารเดียวกันคือ $top - near$ นอกจากนี้ในแนวทแยงมุม เฉพาะ $i = -\frac{far+near}{far-near}$ แสดงอัตราส่วนของจุด z ของระนาบไกล สอดคล้องกับ e ซึ่งแสดงการเลื่อนจุด z และ f ซึ่งแสดงการเลื่อนจุด z และ $l = -\beta \frac{far+near}{far-near}$ แสดงการเลื่อนจุด z โดยพจน์ β_{near} คืออัตราส่วนร่วมของแกนในปริภูมิ 3 มิติของจุดในแบบจำลอง 4DH

นอกจากนี้แถวที่สี่ของ (2.15) $m = 0, n = 0, o = -1$ และ $p = 0$ โดยในแนวทแยงมุม เฉพาะ p ใช้แสดงจุดในภาพที่ได้รับการปรับค่าแล้ว ส่วน o ใช้แสดงจุด z ในภาพที่ได้รับการพลิกกลับในทิศตรงกันข้าม

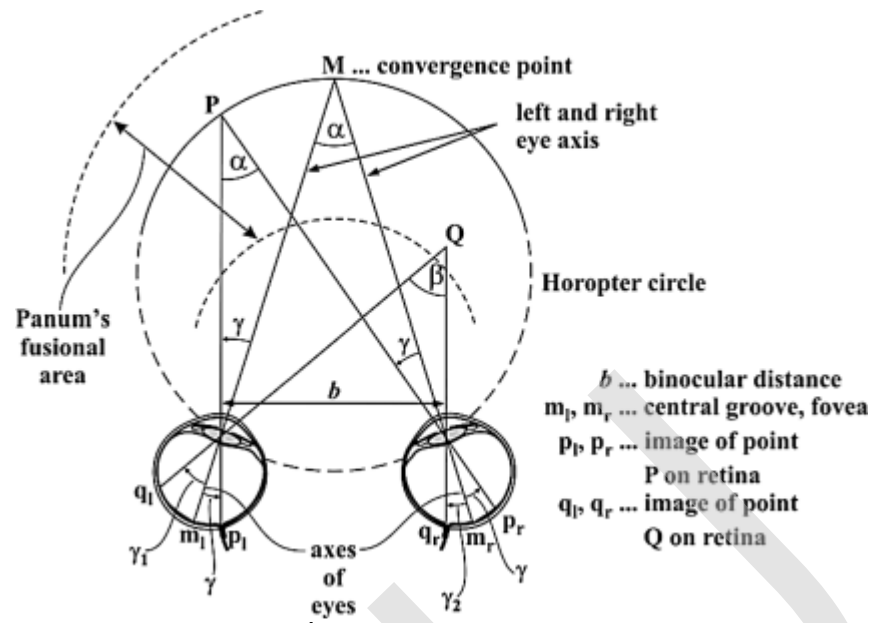
ตัวอย่าง เมื่อกำหนดค่า $(left, right) = (1, 6), (bottom, top) = (1, 5.5)$ และ $(near, far) = (1, 10.5)$ ส่งผลให้ (2.16) แสดงผลการแปลงด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.00 & 1.40 & 0.00 \\ 0.00 & 0.44 & 1.44 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & -1.21 & -2.21 \\ 0.00 & 0.00 & -1.00 & 0.00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

ความไม่ลงรอยสองเลนส์

ความแตกต่างของภาพระหว่างภาพซ้ายและภาพขวาในระบบทัศนวิสัยใช้จำนวนของความไม่ลงรอยของภาพซ้ายและภาพขวาขึ้นอยู่กับความลึก [31] ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระยะจากเลนส์ซ้ายและเลนส์ขวาไปยังพิกัดของวัตถุหนึ่งที่พิจารณาเรียกว่า “ความไม่ลงรอยสองเลนส์” (binocular disparity) โดยระยะจากเลนส์ซ้ายและเลนส์ขวาในระบบทัศนวิสัยสามารถอนุมานความลึกของวัตถุหนึ่งที่พิจารณาได้ ดังนั้นตามความไม่ลงรอยสองเลนส์จึงสามารถประมาณและตีความด้วยระยะจากเลนส์ซ้ายและเลนส์ขวา

โฮรอปเตอร์ (horopter) [32] ประกอบด้วยชุดของจุดที่ไม่ปรากฏความไม่ลงรอยสองเลนส์ ดังนั้นโฮรอปเตอร์จึงแสดงด้วยชุดของจุดหรือวัตถุหนึ่งชิ้นในส่วนวงกลมอ้างอิงกับเลนส์ซ้ายและเลนส์ขวา ดังแสดงในภาพที่ 2.4 นอกจากนี้การมองภาพ 3 มิติด้วยเครื่องมือมองภาพ 3 มิติ (stereoscope) นิยมใช้ในการมองคู่ภาพ 3 มิติ (stereo image pairs) ซึ่งปรากฏภาพซ้าย I_L จากเลนส์ซ้ายและภาพขวา I_R จากเลนส์ขวา โดยคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) ยังสามารถแสดงด้วยภาพนูน (anaglyph) จากภาพซ้ายขวา ในกรณีนี้คู่ภาพซ้ายขวามีการกำหนดความไม่ลงรอยสองเลนส์กันเล็กน้อยให้เพียงพอต่อการแสดงภาพนูนที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.4 ส่วนวงกลมโฮรอปเตอร์

บทที่ 3

การประมวลผลภาพที่น่าสนใจ

บทที่ 3 อธิบายชนิดภาพต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการประมวลผลงานปรภูมิ 3 มิติในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง (virtual environment) ด้วยทัศนียภาพแตกต่างกัน การปรับเท่าภาพแบบเลือกส่วนภาพ (image portion) สำหรับทัศนียภาพสัมพรรค (affine) ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรค (non-affine) เพื่อใช้ในการปรับเท่าภาพแบบเลือกส่วนสำหรับทัศนียภาพไม่สัมพรรค นอกจากนี้บทนี้ยังอธิบายองค์ประกอบสำคัญของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ รวมถึงองค์ประกอบสำคัญไวกานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ ซึ่งทั้ง 2 กรณีใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพเป็นเครื่องมือหลักในการทดลองและทดสอบ ทั้งนี้องค์ประกอบสำคัญไวกานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพเน้นการทดสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ [1] [33] ในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี (colour image histogram) ในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง และอธิบายจำนวนความแตกต่างจุดภาพของชนิดภาพต่าง ๆ โดยพิจารณากระยะทางมินกอร์สกี [d_{min}](#)

ชนิดภาพต่าง ๆ และแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสมนัยต่าง ๆ ได้แก่ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับภาพขาวดำ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพส่วนประกอบสำคัญ แผนภูมิแท่งความถี่ภาพส่วนประกอบสำคัญไวกานและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับภาพสี และจำนวนความแตกต่างจุดภาพปรภูมิ 3 มิติ ซึ่งอธิบายตามลำดับในบทที่ 3 ซึ่งแสดงผลในบทที่ 4 ต่อไป

การประมวลผลภาพต่าง ๆ ในบทที่ 3 ได้แก่ การปรับเท่าภาพ การปรับเท่าภาพแบบเลือกส่วนภาพ และการปรับเท่าภาพสีพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังอธิบายในบทที่ 2 ได้แก่ ระดับความเข้มแสง และชุดสีปรภูมิ อย่างไรก็ตามในบทที่ 3 นำเสนอเพิ่มถึงปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรคและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพส่วนประกอบสำคัญไวกาน กล่าวถึงภาพเนินต่ำและภาพเนินสูงสำหรับการทดสอบภาพ 3D ด้วยจำนวนความแตกต่างจุดภาพ

ชนิดภาพ

การแยกความแตกต่างโดยใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสามารถกำหนดด้วยคู่ภาพ (image pairs) ซึ่งได้รับการจัดหมวดระดับความเข้มแสง [11] [34] และระดับสี (ระดับค่าสีและระดับอ่อนสี) ดังต่อไปนี้

- 1) คู่ภาพระดับความเข้มแสงเดียว
- 2) คู่ภาพสองระดับความเข้มแสง
 - 2.1) คู่ภาพเนินต่ำสองระดับความเข้มแสง
 - 2.2) คู่ภาพเนินสูงสองระดับความเข้มแสง
- 3) ภาพขาวดำ

- 3.1) ภาพเนินต่ำขาวดำ
- 3.2) ภาพเนินสูงขาวดำ
- 4) ภาพสี
 - 4.1) ภาพเนินต่ำสี
 - 4.2) ภาพเนินสูงสี

ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพันธ์

การฉายภาพวัตถุสามารถอธิบายด้วยการจับคู่สัมพัทธ์ร่วมของภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 4 มิติ (4DH) [29] ซึ่งโดยปกติแล้ววัตถุในภาพสามารถพินิจแบบไม่สัมพันธ์ [35] และควบคุมโดยแกนทั้งคู่ของระนาบ อย่างไรก็ตามสมการการจับคู่สัมพัทธ์ร่วม (2.16) ใช้การพิจารณาพิกัดในแกน z และ (2.17) สามารถปรับเทียบเพื่อประยุกต์ในงาน 3D ดังนั้นการวัดค่าจริงไม่สัมพันธ์ของแบบจำลองทรงกระบอก 3D จึงได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานโดยอ้างอิงร่วม $z = 1$ ด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} a_s(z) \\ b_s(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_i - x'_d & 1-z \\ y'_i - y'_d & 1-z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{zr_0} \\ \frac{1}{\lambda} \end{bmatrix}, \quad \lambda = \frac{1 - \frac{near_i}{far_i}}{far_i - near_i} \quad (3.1)$$

โดยที่

λ	คือปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพันธ์
far_i	คือระยะไกลพินิจปรับเทียบแล้ว
$near_i$	คือระยะใกล้พินิจปรับเทียบแล้ว
x'_d	คือจุดช่วงกลางแนว X
x'_i	คือจุดพินิจแนว X
y'_d	คือจุดช่วงกลางแนว Y
y'_i	คือจุดพินิจแนว Y

ข้อได้เปรียบของ (3.1) คือการใช้มาตราส่วนมาตรฐานแก่แบบจำลองทรงกระบอก 3D ดังนั้นจากการทดลอง การหมุนของทรงกระบอกสำหรับแบบจำลองไม่สัมพันธ์ในแบบจำลองสามารถอ้างอิงรูปแบบมาตรฐานได้ โดยการควบคุมไม่สัมพันธ์ของ $a_s(z)$ กำหนดด้วยมาตราส่วน $1-z$ ในแนว X และการควบคุมไม่สัมพันธ์ของ $b_s(z)$ กำหนดด้วยมาตราส่วน $1-z$ ในแนว Y จึงแสดงให้เห็นว่า z สามารถบังคับมาตราส่วนแกนวัตถุทั้งสองแนวซึ่งตั้งฉากกับระนาบ X-Y

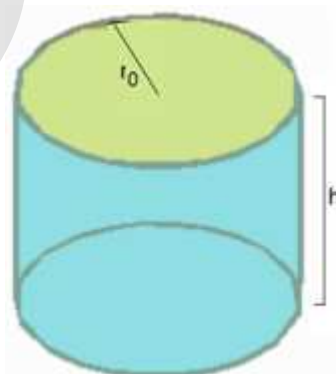
องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ

โดยทั่วไปแล้วแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสามารถแสดงองค์ประกอบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพและองค์ประกอบภาพ โดยองค์ประกอบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพระบุโดยระดับความเข้มแสงสมนัย (corresponding light intensity level) สามารถใช้แสดงรายละเอียดภาพ

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพยังสามารถใช้เปรียบเทียบและตรวจแก้รายละเอียดภาพ [11] [34] [36] โดยภาพระดับความเข้มแสงมืด (dark) ปรากฏองค์ประกอบระดับความเข้มแสงต่ำ ส่วนภาพระดับความเข้มแสงจ้า (bright) ปรากฏองค์ประกอบระดับความเข้มแสงสูง ดังนั้นภาพเฉลี่ยโดยทั่วไปซึ่งเน้นรายละเอียดในระดับกลางจึงปรากฏองค์ประกอบระดับความเข้มแสงกลางโดยส่วนใหญ่ องค์ประกอบสำคัญ (principal components) ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ เรียกว่า “องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ” หรือ “แท่งความถี่ภาพสำคัญ” สามารถระบุรายละเอียดสำคัญในภาพ โดย [36] อธิบายความสัมพันธ์ของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมของจุดภาพในแท่งความถี่ภาพสำคัญจัดเตรียม พิกัดและพื้นที่ครอบคลุมของจุดภาพที่พิจารณา ดังนั้นการแจกแจงจุดภาพหลักในภาพจึงแสดงคุณลักษณะและข้อได้เปรียบด้วยองค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพที่มีความถี่สูง

การปรับเท่าภาพแบบเลือกส่วนภาพ

การเลือกใช้แบบจำลองทรงกระบอก 3D ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่หน้าตัดวงกลมและพื้นที่รอบกระบอกดังแสดงในภาพที่ 3.1 สามารถกำหนดใช้แท่งความถี่ภาพสำคัญแก่ภาพระดับความเข้มแสงมืดสำหรับพื้นที่หน้าตัดวงกลม และกำหนดใช้แท่งความถี่ภาพสำคัญแก่ภาพระดับความเข้มแสงจ้าสำหรับพื้นที่รอบกระบอก สอดคล้องกับสมการการจับคู่ของภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 4 มิติ (4DH)



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองทรงกระบอก 3D

1. พิกัดแบบจำลองทรงกระบอก 3D

ตัวอย่างการจดทะเบียนภาพ (image registration) ปรากฏใน [35] โดยแสดงการฉายและการระลึก (recognition) ขอบแบบจำลองรูปทรงหลายด้าน 3D [29] [37] และในบทนี้ทำการเปรียบเทียบระบบพิกัดต่าง ๆ ของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ซึ่งประกอบด้วยจุดต่าง ๆ รอบแนวทรงกระบอกและระนาบทั้ง 2 ด้านด้วยระบบพิกัดต่อไปนี้

1) ระบบพิกัดทรงกระบอก: ระบบพิกัดทรงกระบอกจัดอยู่ในระบบพิกัดซึ่งสามารถระบุพิกัดวัตถุ 3 มิติของจุด P เมื่อใช้ปัจจัยพิกัดทรงกระบอกที่สอดคล้องกับระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z) จึงสามารถแสดงด้วยสมการ

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \quad z = z \quad (3.2)$$

โดยที่

- ρ คือระยะรัศมี หรือระยะยูลิตจากแนว Z ถึงจุด P
- ϕ คือมุมภาคทิศ (azimuth) หรือมุมระหว่างทิศทางอ้างอิงในระนาบพิจารณาและเส้นจากจุดต้นกำเนิดถึงจุดฉาย P บนระนาบ

2) ระบบพิกัดทรงกลม: นอกจากระบบพิกัดทรงกระบอกแล้ว ระบบพิกัดทรงกลมสามารถระบุพิกัดวัตถุ 3 มิติของจุด P ได้เช่นกัน เมื่อใช้ปัจจัยพิกัดทรงกระบอกที่สอดคล้องกับระบบพิกัดทรงกระบอก (ρ, ϕ, z) จึงสามารถแสดงด้วยสมการ

$$r_s = \sqrt{\rho^2 + z^2}, \quad \theta = \sin^{-1}\left(\frac{z}{r_s}\right), \quad \phi = \phi \quad (3.3)$$

โดยที่

- r_s คือรัศมีทรงกลม
- θ คือมุมเงย

2. พื้นที่และรูปทรงเรขาคณิต

การวิเคราะห์พื้นที่และรูปทรงเรขาคณิตของแบบจำลองทรงกระบอกด้วยการระบุสิ่งตรงกัน (correspondences) ของส่วนภาพแบบจำลองทรงกระบอก 3D ประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้

1) ภาพฉายด้านบน: การอ้างอิงพิกัดภาพฉายด้านบนกำหนดด้วยระนาบ x-y และแนว Z สำหรับแกนทรงกระบอก ดังนั้นพิกัดของภาพฉายด้านบนสามารถแสดงด้วยสมการ

$$x = r_0 \cos \phi, \quad y = r_0 \sin \phi \quad (3.4)$$

โดยที่

- r_0 คือรัศมีพื้นที่หน้าตัดวงกลม

ระนาบที่ตัดทรงกระบอก 3D แสดงด้วยพื้นที่หน้าตัดวงรีซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเอียง (eccentricity) e ของภาคตัดทรงกระบอกและครึ่งแกนหลักวงรี a_s สามารถแสดงด้วยสมการ

$$\epsilon = \cos \alpha \quad (3.5)$$

โดยที่

α คือมุมความเอียง หรือมุมระหว่างระนาบตัด (secant plan) และแกนทรงกระบอก โดย $\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{r_0}{a_s} \right)$ ในกรณีภาพฉายด้านบน

2) พื้นที่ระนาบพินิจ: สมการวงรีมาตรฐาน (ค.1) ในภาคผนวก ก สามารถแสดงพื้นที่ระนาบพินิจ A_p ด้วยสมการ

$$\begin{aligned} A_p &= \int_{-a_s}^{a_s} 2b_s \sqrt{1 - \frac{x^2}{a_s^2}} dx, \quad y = \pm \sqrt{\frac{a_s^2 b_s^2 - b_s^2 x^2}{a_s^2}} \\ &= \frac{b_s}{a_s} \int_{-a_s}^{a_s} 2 \sqrt{a_s^2 - x^2} dx \\ &= \pi a_s b_s. \end{aligned} \quad (3.6)$$

3) พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ: อ้างอิงจุด P ต่าง ๆ ที่ทำมุมภาคทศ ϕ ใน (3.2) ก่อให้เกิดพื้นที่แกนทรงกระบอก A ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ระนาบพินิจ A_p และพื้นที่ตามความสูงพินิจ A_h แสดงด้วยสมการ

$$A = A_p + A_h = \pi a_s b_s + 2a_s h \cos \alpha_i. \quad (3.7)$$

โดยที่

α_i คือมุมพินิจ โดย $\alpha_i = \alpha$

จาก (3.7) พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $\frac{\partial A}{\partial \alpha_i} = 0$ หรือ $\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{\pi a_s}{2h} \right)$

4) ความลึก: การรับรู้ (perception) ความลึกของระบบวิทัศน์มนุษย์ (human visual system) ระบุถึงความสามารถประมวลผลภาพและแปลความหมาย 3D [35] นอกจากนี้ความแตกต่างทางเรขาคณิตของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ทำให้สามารถคำนวณหาความลึกจริง (true depth) ของแกนทรงกระบอก D ดังต่อไปนี้ ความลึกจริงของระนาบพินิจ d_p จากจุดใกล้สุดไปยังจุดไกลสุดของแกนทรงกระบอกอ้างอิงกับผู้พินิจโดยพิจารณาระนาบพินิจด้วยกลุ่มจุดวงกลมใกล้สุด แสดงด้วยสมการ

$$d_p = 2r_0 \cos \alpha_i = 2r_0 \epsilon \quad (3.8)$$

เนื่องจาก $\frac{\partial d_p}{\partial \epsilon} = 2r_0$ มีค่าคงที่ ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าการอนุพันธ์ความลึกระนาบพินิจสอดคล้องกับเงื่อนไขไฮโดเดอร์ (2.9) แสดงด้วยสมการ

$$\frac{\partial d_p}{\partial \alpha_i} = -2r_0 \sin \alpha_i \leq K_H \quad (3.9)$$

(3.2) และ (3.3) แสดงพิกัดจุด $P(\rho, \phi, z)$ และ (r, θ, ϕ) ของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ในระบบพิกัดทรงกระบอกและระบบพิกัดทรงกลมตามลำดับ จึงพิจารณาเฉพาะมุมภาคทศ ϕ ช่วงหนึ่งในแนว

เส้นสายตาอ้างอิงกับผู้พินิจ

เนื่องจากวัตถุมี r วัตถุเกร็ง (rigid body) หรือแกนทรงกระบอกไม่เปลี่ยนแปลง จึงสามารถระบุมุมเงยที่เกิดรอบจุดหมุนซึ่งเป็นจุดใกล้สุดหรือจุดหมุน (fulcrum) อ้างอิงกับผู้พินิจ ดังนั้นจึงสามารถใช้ภาพฉายด้านข้างแกนทรงกระบอกแสดงผลต่างการหมุนของการแปลงความเหมือน (similarity) [35] [38] เท่ากับมุมเงย $\theta = \frac{\pi}{2} - \alpha$

สำหรับความลึกจริงของความสูง d_h ภาคตัดทรงกระบอก สามารถใช้ความสูงทรงกระบอก h ช่วยในการคำนวณ แสดงด้วยสมการ

$$d_h = h \sin \alpha_i \quad (3.10)$$

จาก (3.10) ความสูงพินิจจึงมีค่าเท่ากับ $h \cos \alpha$ สอดคล้องกับความเอียง $\epsilon = \cos \alpha$ ดังนั้นจาก (3.9) และ (3.10) ความลึกจริงของแกนทรงกระบอก D จึงแสดงด้วยสมการ

$$D = d_p + d_h \quad (3.11)$$

และมุมพินิจ α_i ที่กำหนด ส่งผลต่อความลึกจริง D สูงสุดเมื่อ $r_0 = a_s$ ด้วยเงื่อนไข $\frac{\partial D}{\partial \alpha_i} = -2a_s \sin \alpha_i + h \cos \alpha_i = 0$ หรือ $\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{h}{2a_s} \right)$

5) พื้นที่ที่ไม่สัมพรรคของแกนทรงกระบอกพินิจ: มุมมองทัศนมิติ (perspective) จากพื้นที่ที่ไม่สัมพรรคของแกนทรงกระบอกพินิจแตกต่างจากมุมมองจากพื้นที่ของแกนทรงกระบอกพินิจอย่างเห็นได้ชัด

พื้นที่ที่ไม่สัมพรรคของระนาบพินิจ $A_{p,nf}$ สามารถประมาณจากจุดจำเป็นจำนวน 4 จุดจาก (2.16) ยกตัวอย่าง จุดอ้างอิงในรูปแบบ $(x, y, z, 1)$ จำนวน 4 จุด ประกอบด้วย $(1, 3.5, z, 1)$ $(6, 3.5, z, 1)$ $(3.5, 1, z, 1)$ และ $(3.5, 6, z, 1)$ ซึ่งจับคู่กับจุดใหม่จำนวน 4 จุดที่สอดคล้องกับ (2.16) และ (3.1) ซึ่งแสดงผลลัพธ์ครึ่งแกนหลักวงรี $\tilde{a}_s$ หรือค่าของ a_s ระหว่าง $a_s(1)$ และ $a_s(z)$ แสดงด้วยสมการ

$$\tilde{a}_s = a_s \left(\frac{z+1}{2} \right), \quad x'_i - x'_d = a_s \quad (3.12)$$

ผลลัพธ์ครึ่งแกนรองวงรี $\tilde{b}_s$ หรือค่าของ b_s ระหว่าง $b_s(1)$ และ $b_s(z)$ แสดงด้วยสมการ

$$\tilde{b}_s = b_s \left(\frac{z+1}{2} \right), \quad y'_i - y'_d = b_s \sin \alpha_i \quad (3.13)$$

ดังนั้นพื้นที่ที่ไม่สัมพรรคของระนาบพินิจ $A_{p,nf}$ ของทรงกระบอกจึงสามารถประมาณค่าจากจุดจำเป็นทั้ง 4 จุดดังกล่าวข้างต้น แสดงด้วยสมการ

$$A_{p,nf} = \pi \tilde{a}_s \tilde{b}_s \quad (3.14)$$

และพื้นที่ที่ไม่สัมพรรคตามความสูงพินิจ $A_{h,nf}$ ของทรงกระบอกจึงสามารถประมาณค่าด้วยสมการ

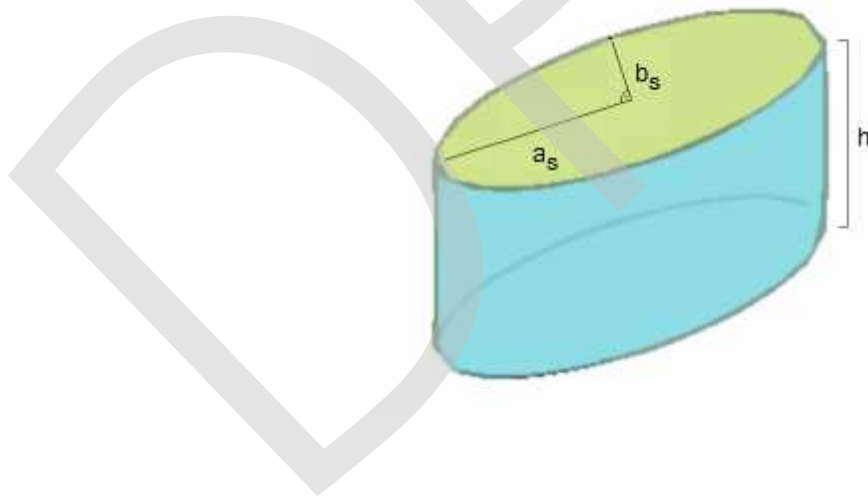
$$A_{h,nf} = \left(2a_s(z) - \frac{1}{2} \lambda z \right) h \cos \alpha_i, \quad z = d_h + 1 \quad (3.15)$$

เพราะฉะนั้นพื้นที่ที่ไม่สัมผัสของแกนทรงกระบอกพินิจ A_{nf} จึงสามารถประมาณด้วยสมการ

$$A_{nf} = A_{p,nf} + A_{h,nf}. \quad (3.16)$$

องค์ประกอบสำคัญในงานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ

งานวิจัยพิจารณาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในภาพ และแบบจำลองทรงกระบอก 3D ที่กำหนดใช้ในการทดลองเกิดกิจกรรมการหมุนรอบจุดหมุนเนื่องจากแรงภายนอกหรือแรงโน้มถ่วง ส่งผลให้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพปรับตัวเนื่องจากมุมพินิจชั่วขณะ (instantaneous inspected angle) และส่งผลให้แท่งความถี่ภาพสำคัญของภาพระดับความเข้มแสงมีค่าสำหรับพื้นที่หน้าตัดวงกลม และภาพระดับความเข้มแสงต่ำสำหรับพื้นที่รอบกระบอกทำการปรับตัวพร้อมกัน เรียกแต่ละองค์ประกอบว่า “องค์ประกอบสำคัญไวงาน” หรือ “แท่งความถี่ภาพสำคัญไวงาน” ดังนั้นเมื่อมุมพินิจชั่วขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการหมุนรอบจุดหมุนจึงสามารถแสดงแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของพื้นที่หน้าตัดกระบอกและพื้นที่รอบกระบอกในแบบจำลองทรงกระบอก 3D สอดคล้องกับการหมุนและสมการการจับคู่ของภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 5 มิติ (5DH)



ภาพที่ 3.2 ภาคตัดขวางสำหรับแบบจำลองทรงกระบอก 3D

องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี

การแปลงภาพสีตามมาตรฐานของสมพันธ์การส่องสว่างนานาชาติ CIE [39] [40] ส่งผลให้ภาพชุดสีปฐมภูมิแดง เขียว น้ำเงิน RGB ที่ผ่านการแยกสีสามารถแสดงด้วยภาพสีปฐมภูมิแดง r ภาพสีปฐมภูมิเขียว g และภาพสีปฐมภูมิน้ำเงิน b ร่วมกับองค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิสมนัยของ r g และ b ตามลำดับ

จำนวนความแตกต่างจุดภาพ

พิจารณาแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพระดับความเข้มแสงเดียวที่มีความละเอียดภาพ (resolution) $M \times N$ สามารถใช้จำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับคู่ภาพเนื่องมาจากการแข่งขันสองเลนส์ (binocular rivalry) [29] [32] ในการรับภาพ

กรณีแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพสองระดับความเข้มแสงและภาพขาวดำที่มีความละเอียดภาพ $M \times N$ ใช้ n_d ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับคู่ภาพ เนื่องมาจากการแข่งขันสองเลนส์รับภาพที่แตกต่างกันของทัศนียภาพ (scene) เพื่อเปรียบเทียบ และเพื่อวิเคราะห์ n_d ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพสองระดับความเข้มแสงจึงแบ่งชนิดภาพต่าง ๆ แต่ละชนิดตามตำแหน่งวัตถุ ได้แก่ ตำแหน่งวัตถุขอบและตำแหน่งวัตถุศูนย์กลางของภาพ

ส่วนกรณีแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพสีมีความละเอียดภาพ $M \times N$ ใช้ n_d ซึ่งคำนึงถึงจำนวนสีปฐมภูมิ นอกจากนี้การทดสอบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของภาพสียังคำนึงปัจจัยความสัมพรรคและไม่สัมพรรคของวัตถุเคลื่อนที่ เช่น วัตถุเคลื่อนที่ในทัศนียภาพตามโครงเรื่องสั้นหรือบทภาพยนตร์ (scenario) เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทที่ 4 แสดงผลการวิจัยที่ได้จากการประยุกต์ทฤษฎีในบทที่ 2 เช่น การปรับเท่าภาพ และการใช้การจำลองแบบซึ่งนำเสนอในบทที่ 3 ผลที่ได้สามารถวิเคราะห์ผลในหัวข้อต่าง ๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้ ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสัมผัสพรกและไม่สัมผัสพรก ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพไวงานสัมผัสพรกและไม่สัมผัสพรก ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี ผลเปรียบเทียบจำนวนความแตกต่างจุดภาพ 3 มิติ

ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสัมผัสพรกและไม่สัมผัสพรก

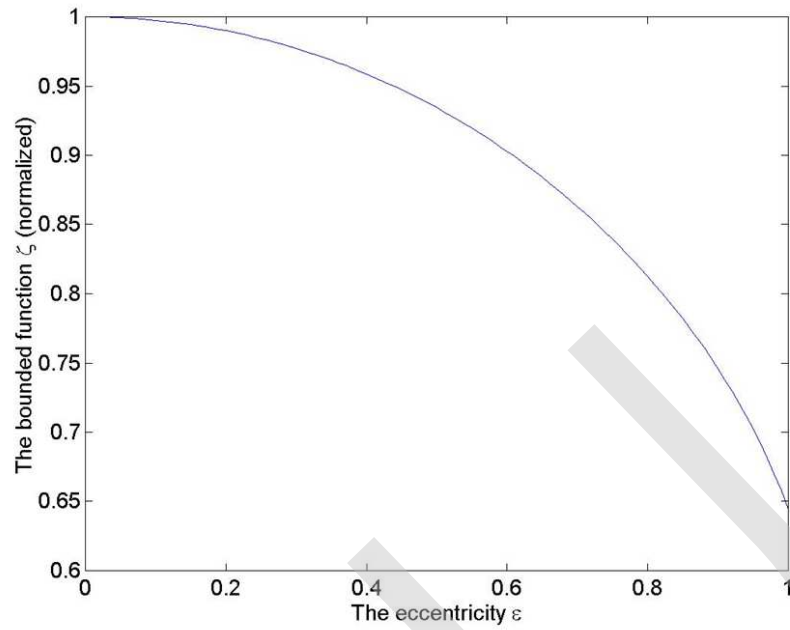
การจำลองแบบเชิงตัวเลขในบทนี้เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทรงกระบอก 3D โดยใช้สมการจากบทที่ 2 และ 3 โดยภาพที่ 4.1 แสดงฟังก์ชันขอบเขต (bounded function) ζ หรือเส้นรอบวงวงรีมาตรฐาน (normalized) (ก.7) กำกับด้วยความเยื้อง (eccentricity) ϵ ดังนั้น ζ จึงใช้เพื่อแสดงผลจากสมการที่เกี่ยวข้องกับภาพสัมผัสพรกและไม่สัมผัสพรก

1. ภาพสัมผัสพรก

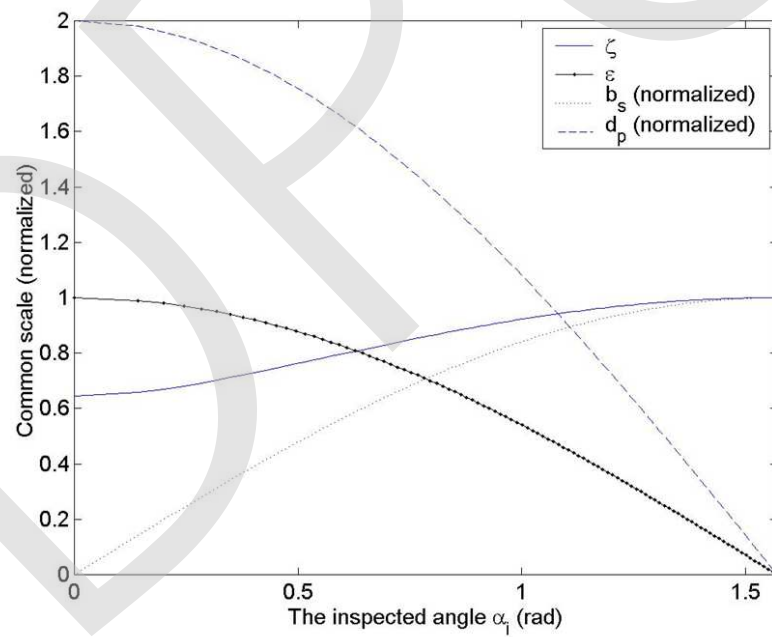
การอนุพันธ์ฟังก์ชันขอบเขต ζ ด้วยมุมพินิจ α_i หรือ $\frac{\partial \zeta}{\partial \alpha_i}$ ให้ผลตอบสนองแบบไม่เชิงเส้นดังแสดงในภาพที่ 4.2 นอกจากนั้นภาพที่ 4.2 ยังแสดงฟังก์ชันขอบเขต ζ ความเยื้อง ϵ ครึ่งแกนรองวงรี b_s มาตรฐาน (normalized) ของภาคตัดทรงกระบอก และความลึกจริงของระนาบพินิจ d_p ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ α_i สอดคล้องกับ (3.5) และ (3.7) โดย $\alpha_i = \alpha$

จาก (3.11) ความลึกจริงแกนทรงกระบอก D สามารถแสดงในภาพที่ 4.3 โดยให้ D ลึกสุดที่ $\alpha_i = \tan^{-1}\left(\frac{h}{2\alpha_s}\right)$ ยกตัวอย่าง $\alpha_i = \tan^{-1}\left(\frac{5}{2}\right) = 1.1903 \text{ rad}$ หรือ 68.1956° และความลึกจริงของแกนทรงกระบอกพินิจ D อ้างอิงกับ $\alpha_s = 1$ (มาตรฐาน) สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี α_s ยกตัวอย่างในกรณี $h = 5\alpha_s$ คือ $D = d_p + d_h$ หรือ $2\frac{2}{\sqrt{2^2+5^2}} + 5\frac{5}{\sqrt{2^2+5^2}} = \sqrt{29}$ นอกจากนี้ภาพที่ 4.3 ยังแสดงผล D ในกรณี $h = 2\alpha_s$, $h = 5\alpha_s$ และ $h = 10\alpha_s$

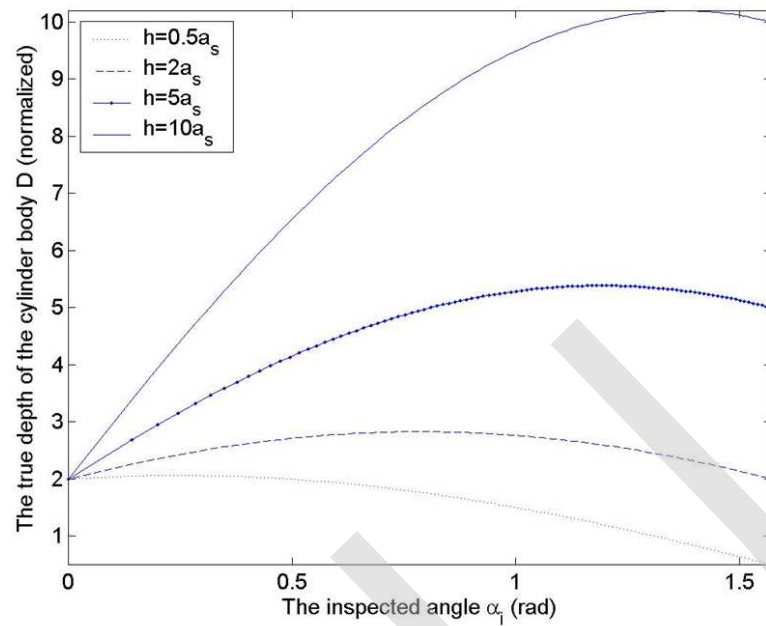
และจาก (3.7) พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี $\alpha_s = 1$ (มาตรฐาน) สามารถแสดงในภาพที่ 4.4



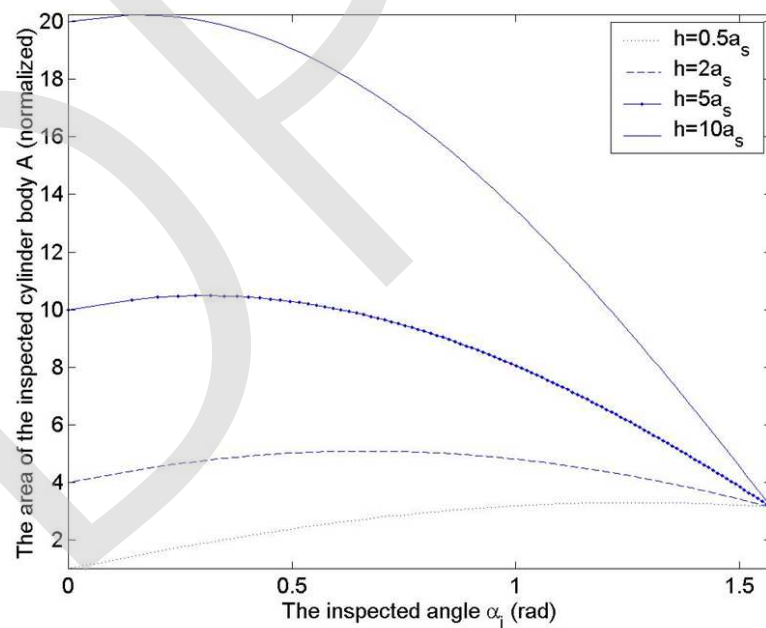
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันขอบเขต ζ และความเยื้อง ε



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันขอบเขต ζ และความเยื้อง ε ครึ่งแกนรองวงรี b_s มาตรฐาน (normalized) ของภาคตัดทรงกระบอก ความลึกจริงของระนาบพินิจ d_p และมุมพินิจ α_i



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงของแกนทรงกระบอกพินิจ D และมุมพินิจ α_i สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี $a_s = 1$ (มาตรฐาน)



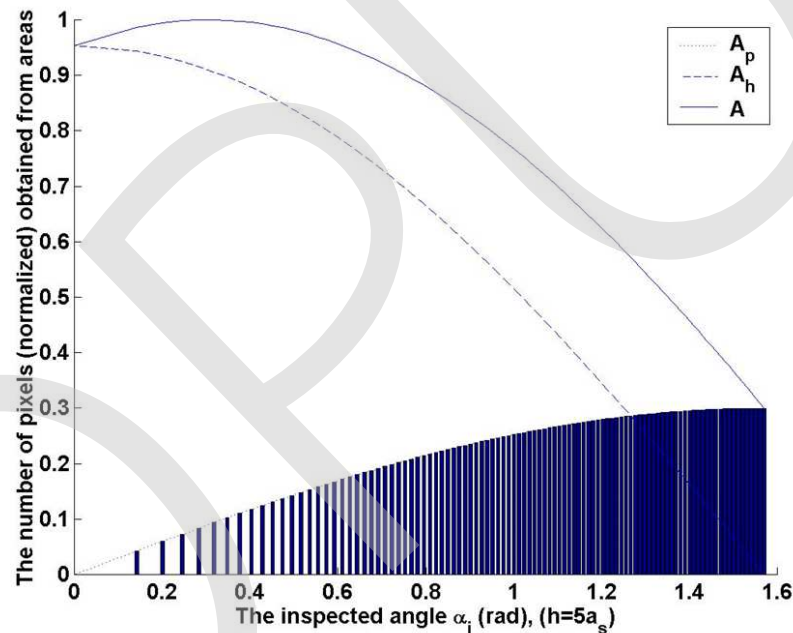
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่แกนทรงกระบอกพินิจ A และมุมพินิจ α_i สำหรับความสูงทรงกระบอก h ค่าต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับครึ่งแกนหลักวงรี $a_s = 1$ (มาตรฐาน)

อย่างไรก็ตามพื้นที่ระนาบพินิจ A_p และพื้นที่ตามความสูงพินิจ A_h สามารถแสดงด้วยจำนวนจุดภาพได้ และสามารถนำเสนอด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ

จำนวนจุดภาพของ A_p และ A_h แสดงด้วยแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงาน/ปรับตัวสมนัยของชุด

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพ ดังนั้นแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสมนัยในชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแกนทรงกระบอกพินิจของแบบจำลองทรงกระบอก 3D สอดคล้องกับภาพฐานการอ้างอิงระบบพิกัดเอกพันธ์ 5 มิติ (SDH) ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ซึ่งการหมุนของวัตถุหรือทรงกระบอกส่งผลต่อแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงานตามมุมพินิจ α_i ชั่วขณะ โดยแท่งความถี่ภาพสำคัญจากจำนวนจุดภาพของ A_p ระบุระดับความเข้มแสงสีมืด (dark) และแท่งความถี่ภาพสำคัญจากจำนวนจุดภาพของ A_h ระบุระดับความเข้มแสงสีจาง (bright)

ทั้งนี้ A (มาตรฐาน) กว้างสุดเท่ากับ 1 เกิดขึ้นที่มุมพินิจ $\alpha_i = \tan^{-1}\left(\frac{\pi a_s}{2h}\right) = 0.3044 \text{ rad}$ หรือ (17.4406°) ยกตัวอย่างในกรณี $h = 5a_s$ คือ $A = A_p + A_h$ หรือ $\pi a_s b_s + 2a_s h \cos \alpha_i$ เท่ากับ $\pi \sin \alpha_i + 10 \frac{10}{\sqrt{\pi^2 + 100}} = \sqrt{\pi^2 + 100}$



ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงานของคู่จำนวนจุดภาพจากพื้นที่ระนาบพินิจ A_p และพื้นที่ตามความสูงพินิจ A_h ($h = 5a_s$) โดยอ้างอิงกับมุมพินิจ (หมายเหตุ พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A (มาตรฐาน) กว้างสุดเท่ากับ 1)

2. ภาพไม่สมบูรณ์

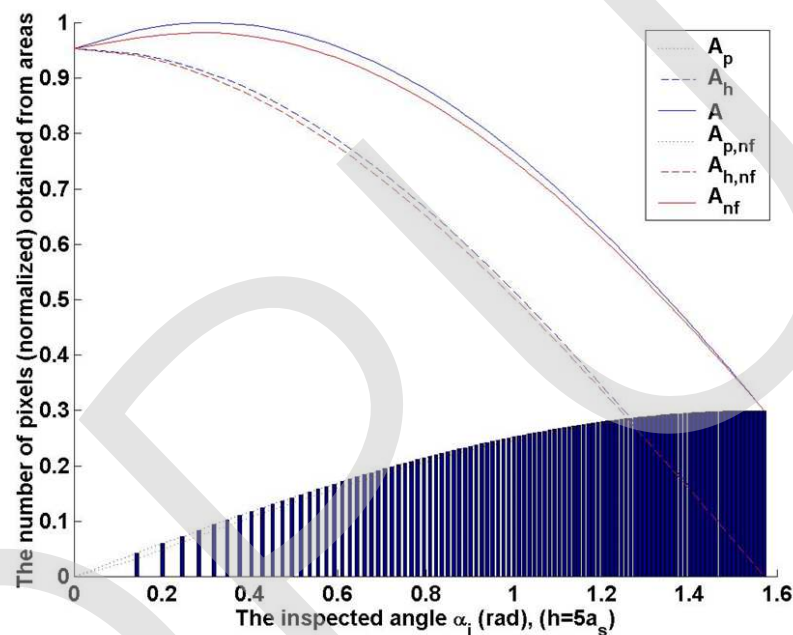
จาก (2.17) เมื่อทำการปรับค่า (*bottom, top*) เท่ากับ (1,6) เพื่อแสดงพิกัดทรงกระบอกหน้าตัดวงกลมสมบูรณ์ การจับคู่ไม่สมบูรณ์ของ 4DH แสดงด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.00 & 1.40 & 0.00 \\ 0.00 & 0.40 & 1.40 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & -1.21 & -2.21 \\ 0.00 & 0.00 & -1.00 & 0.00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

อ้างอิงจาก (2.16) (3.1) (3.16) เมื่อกำหนดให้ $\beta = 2$ และ $\lambda = \frac{1 - \frac{near}{far}}{far - near} = 0.0366$ จุด

P ในรูปแบบ $(x, y, z, 1)$ ของทรงกระบอกหน้าตัดวงกลมได้รับการจับคู่และได้การกำหนดค่าใหม่ ดังนั้นชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของของคู่จำนวนจุดภาพจากพื้นที่ไม่สัมผัสของระนาบพินิจ $A_{p,nf}$ และพื้นที่ไม่สัมผัสตามความสูงพินิจ $A_{h,nf}$ สามารถเปรียบเทียบกับชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของของคู่จำนวนจุดภาพจากพื้นที่ของระนาบพินิจ A_p และพื้นที่ตามความสูงพินิจ A_h ดังแสดงในภาพที่ 4.6

ทั้งนี้จำนวนจุดภาพจากพื้นที่ไม่สัมผัส A_{nf} กว้างสุดเกิดขึ้นที่มุมพินิจ $\alpha_i = \tan^{-1}\left(\frac{\pi a_s}{2h}\right) = 0.2838 \text{ rad}$ หรือ (16.2605°) สัมพัทธ์กับจำนวนจุดภาพจากพื้นที่ $A = 1$



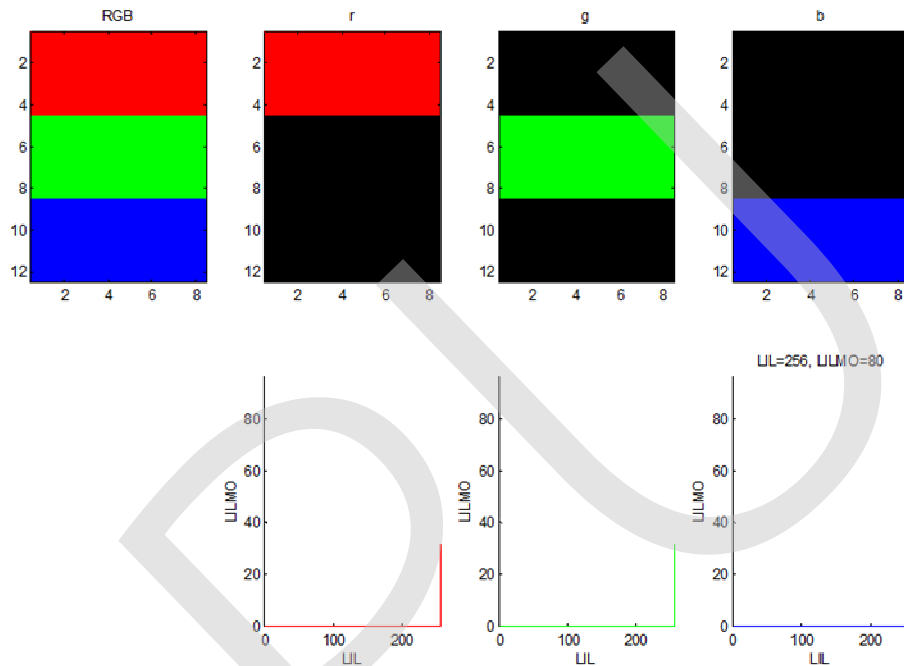
ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแท่งความถี่ภาพสำคัญไวงานของคู่จำนวนจุดภาพจากพื้นที่ไม่สัมผัสระนาบพินิจ $A_{p,nf}$ และพื้นที่ไม่สัมผัสตามความสูงพินิจ $A_{h,nf}$ ($h = 5a_s$) โดยอ้างอิงกับมุมพินิจ

(หมายเหตุ พื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ A แสดงพื้นที่ทั้งหมด และ A (มาตรฐาน) กว้างสุดเท่ากับ 1)

ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี

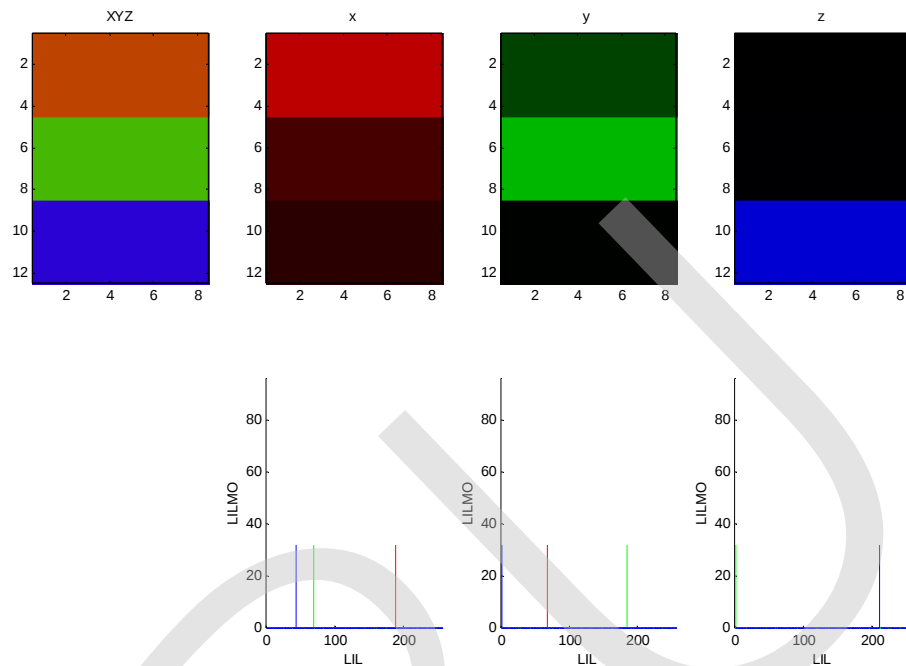
ภาพที่ 4.7 แสดงภาพสีต้นฉบับสำหรับชุดสีปฐมภูมิ RGB หรือ RGB ที่แสดงส่วนผสมด้วยภาพสีปฐมภูมิแดง r ภาพสีปฐมภูมิเขียว g และภาพสีปฐมภูมิน้ำเงิน b ประกอบกับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีปฐมภูมิสมนัยของภาพ r g และ b ตามลำดับ โดยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพแต่ละภาพประกอบด้วยแนวนอนแสดงระดับความเข้มแสงในช่วง $[1,256]$ และแนวตั้งแสดงจำนวนจุดภาพหรืออันดับสมาชิกระดับความเข้มแสง LILMO [11] และระดับความเข้มแสงในแนวนอนแสดงด้วยระดับความเข้มแสง L หรือ LIL [11] ดังนั้นจุดภาพสีจำนวนเท่ากันของ r g และ b ใน RGB จึงสามารถแสดงส่วนผสมด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ r g และ b ด้วยแท่งความถี่ภาพสีสมนัย หรือจุดภาพสีของ r g และ b ในภาพที่ 4.7 เท่ากับ $1/3$ ของจำนวนจุดภาพใน RGB หรือ 96 จุดภาพ จึงได้ผลลัพธ์ 32 จุดภาพ ณ ระดับความเข้มแสง

อิมตัวเท่ากับ 256



ภาพที่ 4.7 ภาพชุดสีปฐมภูมิ RGB หรือ **RGB** ประกอบด้วย **r** **g** และ **b** และแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีสมนัยตามลำดับ (จำนวนจุดภาพสีในแนวตั้งของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีแสดงด้วยจำนวนจุดภาพหรืออันดับสมาชิกระดับความเข้มแสง LILMO [11])

ภาพที่ 4.8 แสดงภาพสีสำหรับชุดสีปฐมภูมิ XYZ หรือ **XYZ** จากตัวอย่างการแปลง **RGB** (2.6) ดังนั้น **XYZ** จึงสามารถแสดงด้วย **x** **y** และ **z** ประกอบกับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีสมนัยตามลำดับ ดังนั้นจุดภาพสีจำนวนต่าง ๆ ของ **r** **g** และ **b** ใน **XYZ** จึงสามารถแสดงส่วนผสมต่าง ๆ ด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ **x** **y** และ **z** ด้วยแท่งความถี่ภาพสีสมนัยหรือจุดภาพของ **r** **g** และ **b** สมนัยในภาพที่ 4.8 ซึ่งสามารถคำนวณจาก (2.6) และแสดงผลอย่างชัดเจนในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.8 ภาพชุดสีปฐมภูมิ **XYZ** ประกอบด้วย **x**, **y** และ **z** และแผนภูมิแบ่งความถี่ภาพสีสมนัยตามลำดับ (จำนวนจุดภาพสีในแนวตั้งของแผนภูมิแบ่งความถี่ภาพสีแสดงด้วยจำนวนจุดภาพหรืออันดับสมาชิก ระดับความเข้มแสง LILMO [11])

ตารางที่ 4.1 ระดับความเข้มแสงของแผนภูมิแบ่งความถี่ภาพสีสมนัยของภาพชุดสีปฐมภูมิ RGB และ XYZ ในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ภาพ	จำนวนจุดภาพ/ระดับความเข้มแสง		
	r	g	b
r	32/256	-	-
g	-	32/256	-
b	-	-	32/256
x	32/188	32/70	32/43
y	32/168	32/184	32/2
z	-	32/2	32/211

ผลสมการเปรียบเทียบจำนวนความแตกต่างจุดภาพ 3D

ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในบทที่ 3 หัวข้อจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d สามารถประยุกต์และแสดงผลสำหรับชนิดภาพต่าง ๆ ด้วยการเปรียบเทียบคู่แผนภูมิแท่งความถี่ภาพของคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) โดยมีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบตามลำดับ

1. คู่ภาพระดับความเข้มแสงเดียว

กรณีคู่ภาพระดับความเข้มแสงเดียว [11] สำหรับภาพซึ่งมีความละเอียดภาพ $M \times N$ จากความกว้างภาพและความยาวภาพ สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) เนื่องมาจากขั้นตอนการแข่งขันสองเลนส์ (binocular rivalry) ในขั้นตอนวิธีนำเสนอด้วยผลสมการ

$$n_d = (M + d_L - d_R)N - (M - d_L + d_R)N = 0, \quad d_L = d_R \quad (4.1)$$

โดยที่

d_L คือระยะของจุดจุดทะเบียนในภาพซ้าย I_L

d_R คือระยะของจุดจุดทะเบียนในภาพขวา I_R

2. คู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสง

คู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงใช้การพิจารณาแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของคู่ภาพสองระดับความเข้มแสง [11] สำหรับภาพซึ่งมีความละเอียดภาพ $M \times N$ และมีระดับความเข้มแสงอ่อนสุด I_{min} สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงที่สุด $n_{d,min}$ ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) เนื่องมาจากขั้นตอนการแข่งขันสองเลนส์ในขั้นตอนวิธีนำเสนอด้วยผลสมการ

$$n_{d,min} = N(d_L + d_R) \quad (4.2)$$

นอกจากนั้น ภาพซึ่งมีความละเอียดภาพ $M \times N$ สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงที่สุด $n_{d,max}$ ด้วยผลสมการ

$$n_{d,max} = 0 \quad (4.3)$$

ดังนั้น ความแตกต่างคู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงสามารถแสดงจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d ภายในขอบเขต (4.2) และ (4.3) และคู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงสามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงของวัตถุขอบภาพ และภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงของวัตถุกลางภาพตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_{d,min} = N(d_L + d_R) \quad (4.4)$$

นอกจากนั้น ภาพซึ่งมีความละเอียดภาพ $M \times N$ สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงที่สุด $n_{d,max}$ ด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d (1 - I(m, n)) + Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.5)$$

โดยที่

d คือระยะกลาง

และ

$$n_d = 0 \quad (4.6)$$

3. คู่ภาพเนินสูงสองระดับความเข้มแสง

การพิจารณาแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของคู่ภาพสองระดับความเข้มแสง [11] สามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเนินสูงสองระดับความเข้มแสงของวัตถุขอบภาพ และคู่ภาพเนินสูงสองระดับความเข้มแสงของวัตถุกลางภาพตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d (1 - I^i(m, n)) + Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.7)$$

โดยที่

I^i คือภาพแสงกระทบ ยกตัวอย่างกรณีภาพพื้นหน้าแสดงวัตถุที่มีจุดภาพสีดำและพื้นหลังสีขาว การกระทบของแสงส่งผลให้วัตถุแสดงด้วยจุดภาพสีขาว

และ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor - \lfloor \tan \theta \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor} (1 - I_L(m, n)) + Nd + \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + \lfloor \tan \theta \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + \lfloor \tan \theta \rfloor} (1 - I_R(m, n)) + Nd \quad (4.8)$$

โดยที่

z คือพิกัด z ของระนาบภาพซึ่งเส้นปกติชี้ไปยัง $z = 0$

4. คู่ภาพเนินต่ำขาคำ

การใช้แผนภูมิความถี่ภาพแก่คู่ภาพเนินต่ำขาคำในกรณีสัมพรรค สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงสุด $n_{d, \max}$ ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) เนื่องมาจากขั้นตอนการแปลงขั้นสองเลนส์ ด้วยคู่ภาพซ้ายขวาที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในขั้นตอนวิธีนำเสนอด้วยผลสมการ

$$n_{d, \max} = N(d_L + d_R) \quad (4.9)$$

และจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงต่ำสุด $n_{d, \min}$ ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) ด้วยระดับความเข้มแสงเดียวกัน แสดงด้วยผลสมการ

$$n_{d, \min} = 0 \quad (4.10)$$

ในทางเดียวกันกับคู่ภาพเน็นต่ำสองระดับความเข้มแสง รูปแบบที่แตกต่างกันในคู่ภาพเน็นต่ำขาวดำส่งผลให้มีจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d แตกต่างกัน ซึ่งสามารถประมาณขอบเขตด้วย (4.9) และ (4.10) และสามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเน็นต่ำขาวดำของวัตถุขอบภาพ และคู่ภาพเน็นต่ำขาวดำของวัตถุกลางภาพตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d [1 - I(m,n)] + Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.11)$$

โดยที่

[.] คือฟังก์ชันเพดาน (ceiling function) โดย $[1 - I(m,n)] = (1 - I(m,n) > 0) = 1$ สามารถแสดงผลความไวความแตกต่างจุดภาพ

และ

$$n_d = 0 \quad (4.12)$$

5. คู่ภาพเน็นสูงขาวดำ

ในทัศนียภาพ (scene) ต่าง ๆ ที่มีการพิจารณาความลึกวัตถุ การใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพของคู่ภาพขาวดำ [11] สามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเน็นสูงขาวดำของวัตถุขอบภาพ และคู่ภาพเน็นสูงขาวดำของวัตถุกลางภาพตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d [1 - I^h(m,n)] + Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.13)$$

และ

$$n_d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor - \lfloor \tan \theta \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor} [1 - I_L(m,n)] + Nd + \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + \lfloor \tan \theta \rfloor} [1 - I_R(m,n)] + Nd \quad (4.14)$$

6. คู่ภาพเน็นต่ำสี

การใช้แผนภูมิความถี่ภาพแก่คู่ภาพเน็นต่ำสี [11] ในกรณีสัมพรรค สามารถคำนวณจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงสุด $n_{d,mmx}$ ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) เนื่องมาจากขั้นตอนการแข่งขันสองเลนส์ ด้วยคู่ภาพซ้ายขวาที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันของชุดสีปฐมภูมิ $p \in \{r, g, b\}$ ในขั้นตอนวิธีนำเสนอด้วยผลสมการ

$$n_{d,mmx} = 3N(d_L + d_R) \quad (4.15)$$

และจำนวนความแตกต่างจุดภาพใกล้เคียงต่ำสุด $n_{d,mmn}$ ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจากคู่ภาพซ้ายขวา (I_L, I_R) ด้วยระดับความเข้มแสงเดียวกัน แสดงด้วยผลสมการ

$$n_{d,mmn} = 0 \quad (4.16)$$

ในทางเดียวกันกับคู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงและคู่ภาพเนิ่นต่ำขาวดำส่งผลให้มีจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d แตกต่างกัน ซึ่งสามารถประมาณขอบเขตด้วย (4.15) และ (4.16) และสามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเนิ่นต่ำสีของวัตถุขอบภาพ และคู่ภาพเนิ่นต่ำสีของวัตถุกลางภาพตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{p=r}^b \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d [1 - I(m,n)] + 3Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.17)$$

และ

$$n_d = 0 \quad (4.18)$$

7. คู่ภาพเนิ่นสูงสี

ในทางเดียวกันกับคู่ภาพเนิ่นต่ำสองระดับความเข้มแสงและคู่ภาพเนิ่นต่ำขาวดำส่งผลให้มีจำนวนความแตกต่างจุดภาพ n_d แตกต่างกัน ซึ่งสามารถประมาณขอบเขตด้วย (4.15) และ (4.16) และสามารถจัดได้ 2 ประเภท คือ คู่ภาพเนิ่นต่ำสีของวัตถุขอบภาพ และคู่ภาพเนิ่นต่ำสีของวัตถุกลางภาพซึ่งลดผล n_d บริเวณขอบคู่ภาพซ้ายขวาตามลำดับ แสดงด้วยผลสมการ

$$n_d = \sum_{p=r}^b \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^d [1 - I^l(m,n)] + 3Nd, \quad d = d_L = d_R \quad (4.19)$$

และ

$$n_d = \sum_{p=r}^b \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor - \lfloor x \tan \theta \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor} [1 - I_L(m,n)] + \sum_{p=r}^b \sum_{n=1}^N \sum_{m=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + \lfloor x \tan \theta \rfloor}^{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor} [1 - I_R(m,n)] \quad (4.20)$$

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทที่ 5 ประกอบด้วยการสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ การอภิปรายผลวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อเนื่องในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเสนอวิธีการปรับแก้ฐานแผนภูมิแท่งความถี่แบบกำหนดด้วยการวัดฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมอย่างชัดเจนสำหรับภาพสีและภาพ 3D และเสนอวิธีการปรับแก้ฐานแผนภูมิแท่งความถี่ชนิดเพิ่มความยืดหยุ่นทางกระบวนการประมวลผลในการใช้งาน 3D ในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริงโดยพิจารณา [d-link](#)

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การจัดชนิดภาพ การปรับแก้ภาพแบบเลือกส่วนภาพสำหรับทัศนียภาพสัมพรรค (affine) ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรค (non-affine) องค์ประกอบสำคัญของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ รวมถึงองค์ประกอบสำคัญไวงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพซึ่งทั้ง 2 กรณีใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพเป็นเครื่องมือหลักในการทดลองและทดสอบ ทั้งนี้องค์ประกอบสำคัญไวงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพเน้นการทดสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง องค์ประกอบสำคัญแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง และอธิบายจำนวนความแตกต่างจุดภาพของชนิดภาพต่าง ๆ โดยพิจารณาระยะทางมินคอฟสกีด้วยเลขชี้กำลังปรภูมิปกติ โดยเครื่องมือการวิจัยได้แก่ชนิดภาพแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสมนัยและจำนวนความแตกต่างจุดภาพ ส่วนการประมวลผลภาพเพื่อได้มาซึ่งผลการทดลองและการทดสอบ ตลอดจนการวิเคราะห์ผลประกอบด้วย การปรับแก้ภาพ การปรับแก้ภาพแบบเลือกส่วนภาพ และการปรับแก้ภาพสีด้วยการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ระดับความเข้มแสง และชุดสีปฐมภูมิ ปัจจัยสังเกตการณ์ไม่สัมพรรคและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ องค์ประกอบสำคัญไวงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ ทั้งนี้ภาพเนินต่ำและภาพเนินสูงสำหรับการทดสอบภาพ 3D ใช้จำนวนความแตกต่างจุดภาพของกลุ่มภาพซ้ายขวา

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยที่ได้จากการประยุกต์ทฤษฎี เช่น การปรับแก้ภาพ และการใช้การจำลองแบบ สามารถ

แสดงด้วย ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสัมผัสและไม่สัมผัส ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี ผลเปรียบเทียบจำนวนความแตกต่างจุดภาพ 3 มิติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

อภิปรายผล

1. ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสัมผัสและไม่สัมผัส

แท่งความถี่ภาพสำคัญไวกงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแบบจำลองทรงกระบอก 3D แสดงค่าจริงและค่าพินิจตามค่าสมนัย 3D ต่าง ๆ ค่าจริงของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น ความเยื้อง มุมความเยื้อง และความลึกจริงของแกนทรงกระบอก ส่วนค่าพินิจของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระนาบพินิจ โดยเน้นพื้นที่แกนทรงกระบอกพินิจ และพื้นที่ไม่สัมผัสแกนทรงกระบอกพินิจ ซึ่งปรับในรูปแบบจำนวนจุดภาพมาตรฐานของแท่งความถี่ภาพสำคัญของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพในสิ่งแวดล้อม 4DH สอดคล้องกับเงื่อนไขลิปส์ซิดซ์และฮิลเคอร์ และจำนวนจุดภาพมาตรฐานของแท่งความถี่ภาพสำคัญไวกงานของชุดแผนภูมิแท่งความถี่ภาพในสิ่งแวดล้อม 5DH

การทดลองและทดสอบพิจารณาระดับความเข้มแสงด้วยระดับคลัสส์หรือระดับอ่อนสี การกำหนดแท่งความถี่ภาพสำคัญไวกงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพของแบบจำลองทรงกระบอก 3D สามารถแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น และฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมของภาพที่พิจารณา ซึ่งรวมวัตถุเคลื่อนที่ เช่น ระนาบต่าง ๆ และท่อทรงกระบอก เป็นต้น

การอ้างถึงมุมพินิจของแบบจำลองทรงกระบอก 3D ค่าจริง แบบจำลอง 5DH สามารถรองรับแท่งความถี่ภาพสำคัญไวกงานของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับวัตถุเคลื่อนที่และความไวและค่าจริงที่ปรากฏสามารถรักษาสีสิ่งแวดล้อม 3D

2. ผลเปรียบเทียบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสี

ภาพสีสำหรับชุดสีปฐมภูมิ XYZ หรือ XYZ จากตัวอย่างการแปลง RGB สามารถแสดงด้วย xy และ z ประกอบกับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีสมนัยตามลำดับ ดังนั้นจุดภาพสีจำนวนต่าง ๆ ของ rg และ b ใน XYZ จึงสามารถแสดงส่วนผสมต่าง ๆ ด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ xy และ z ด้วยแท่งความถี่ภาพสีสมนัยหรือจุดภาพของ rg และ b สมนัยซึ่งสามารถคำนวณและแสดงผลอย่างชัดเจน

3. ผลเปรียบเทียบจำนวนความแตกต่างจุดภาพ 3 มิติ

การตรวจสอบแผนภูมิแท่งความถี่ภาพซ้ำๆซึ่งประกอบด้วย คู่ภาพระดับความเข้มแสงเดียว คู่ภาพสองระดับความเข้มแสง---คู่ภาพเนินต่ำสองระดับความเข้มแสง และคู่ภาพเนินสูงสองระดับความเข้มแสง ภาพขาวดำ---ภาพเนินต่ำขาวดำ และภาพเนินสูงขาวดำ ภาพสี---ภาพเนินต่ำสี และภาพเนินสูงสี สามารถแสดงผลสมการจำนวนความแตกต่างจุดภาพของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพแฝง (hidden) ของคู่ภาพซ้ำๆ และขั้นตอนการแข่งขันสองเลนส์ (binocular rivalry) ของภาพชนิดต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าความซ้ำทางระยะ (space diversity) และความกลมกลืนคู่ภาพ (image mosaiking) [Gos05] สามารถปรับปรุง

กระบวนการและคุณภาพการประมวลผลภาพด้วยจำนวนความแตกต่างจุดภาพของกลุ่มภาพซ้ายขวาแก่ 3D 4DH หรือ 5DH

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัยที่พบและการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยที่พบแสดงการวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวด้วยแผนภูมิแท่งความถี่ภาพไวงาน ในทางกลับกันผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ ประยุกต์ใช้และเป็นแนวทางในการสังเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวจากแผนภูมิแท่งความถี่ภาพไวงาน โดยเน้นภาพที่เกี่ยวข้องกับระดับความเข้มแสง นอกจากนี้การสังเคราะห์วัตถุในภาพด้วย 5DH จากแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสมนัย สามารถช่วยศึกษาการเคลื่อนที่และความไวของวัตถุ และกลุ่มภาพซ้ายขวาแสดงจำนวนความแตกต่างจุดภาพแฝงของกลุ่มภาพของ 3D สามารถเติมเต็มทัศนวิสัยตลอดจนพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยอนาคตมุ่งเน้นรายละเอียดในแท่งความถี่ภาพสำคัญขั้นสูงของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพในแบบจำลอง 5DH หรือ 4DH สำหรับความเป็นกลุ่มภาพหรือความกลมกลืนกลุ่มภาพในมิติต่าง ๆ รวมถึงการมุ่งเน้นการแข่งขันสองเลนส์สมบูรณ์สำหรับการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว และการแข่งขัน 4 เลนส์ในสิ่งแวดล้อมเสมือนจริง

บรรณานุกรม

- [1] บงการ หอมนาน. (2552). “การปรับความสว่างแบบปรับตัวโดยใช้หน้าต่างเลื่อนฐาน β ของฮิสโตแกรมสำหรับภาพเคลื่อนไหว” การประชุมวิชาการการบริหารและการจัดการ. ครั้งที่ 5. มธบ.
- [2] University of California, Davis. **L^p Space**. (2014).
[Online]. Available : https://www.math.ucdavis.edu/~hunter/measure_theory. (April 10, 2014)
- [3] Smith, John R. (1997). **Integrated Spatial and Feature Image Systems: Retrieval, Analysis and Compression**. Ph.D. Dissertation, Graduate School of Arts and Sciences. Columbia University.
- [4] Rohlin, Vladimir A. (1964). “Exact Endomorphisms of a Lebesgue Space” **American Mathematical Society Translations**. 39 : 1 -36.
- [5] Novak, Carol L. and Shafer, Steven A. (1992). “Anatomy of a Color Histogram” **IEEE CVPR**. 599 - 605.
- [6] Bashkov, Evgenity A. and Shozda, Natalya S. (2002). “Content-Based Image Retrieval Using Color Histogram Correlation” **Graphicon proceedings**. 458 - 461.
- [7] Suhasini, Smt P. S. Krishna, Sri Rama K. and Krishna IV, Murali. (2009). “CBIR Using Color Histogram Processing” **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**. 6 (1) : 116-122.
- [8] Wikipedia. (2014). **Image Histogram**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Image_histogram. (April 10, 2014)
- [9] Wikipedia. (2014). **L^p Space**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Lp_space. (April 10, 2014)
- [10] Plataniotis, Konstantinos and Venetsanopoulos, Anastasios N. (2000). **Color Image Processing and Applications**. Springer : Canada.
- [11] Homnan, Bongkarn and Benjapolakul, Watit. (2013). “Intermediate Inverse Image Histogram”

IEEE CSE. **16th ICES Symposium**. 675 - 679.

- [12] Wang, Xiang-Y. Wu, Jun-F. and Yang, Hong-Y. (2010). "Robust Image Retrieval based on Color Histogram of Local Feature Regions" **Multimed Tools Appl**. 49 : 323-345.
- [13] Wikipedia. (2014). **HSL and HSV**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV. (July 10, 2014)
- [14] Wikipedia. (2014). **CIE 1931**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space. (April 10, 2014)
- [15] Lee, Hsien-C. (2005). **Introduction to Color Imaging Science**. Cambridge : Singapore.
- [16] Epicedits. (2013). **Image Histogram**.
[Online]. Available : <http://blog.epicedits.com/2007/04/14/working-with-image-histograms/>
- [17] Rathinam, Vinoth. et al. (2013). "Characterization of Color and Texture Features from Retrieved Images using CBIR" **International Journal of Research in Advent Technology**. 1 (5) : 61-67.
- [18] Rockmore, Daniel N. and Healy, Dennis M. Jr. (2003). **Modern Signal Processing**. Cambridge: New York.
- [19] Li, Beitao. Chang, Edward and Wu, Yi. (2003). Discovery of A Perceptual Distance Function for Measuring Image Similarity. **Multimedia Systems**. 8 : 512-522.
- [20] Odin David, (2008). **Examples of 3D Sources**.
[Online]. Available : <http://dindinx.net/OpenGL/index.php>. (January 28, 2014)
- [21] Shapiro, Linda G. and Stockman, George. C. (2003). **Computer Vision**. Prentice Hall : Singapore.
- [22] Wikipedia. (2014). **Euclidean Distance**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance. (July 10, 2014)
- [23] Wikipedia. (2014). **Minkowski Distance**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Minkowski_distance (April 10, 2014)
- [24] Mitrea, Marius and Taylor, Michael. (2001). **Potential Theory on Lipschitz Domains in Riemannian Manifolds: L^p , Hardy, and Hölder Space Results**. Grant Research, Department of Mathematics, University of Missouri Columbia and Department of Mathematics, University of North Carolina.
- [25] Wikipedia. (2014). **Lipschitz Continuity**.

- [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Lipschitz_continuity (April 10, 2014)
- [26] Wikipedia. (2014). **Hölder Conditions**.
[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6lder_condition. (April 10, 2014)
- [27] Miller James. (2006). **Homeomorphism**.
[Online]. Available : <http://www.solitaryroad.com/c775.html>. (January 28, 2014)
/invisiblehandshake. (July 10, 2014)
- [28] Kurhe, Ajay B. Satonka, Suhas S. and Khanale Prakash B. “Color Matching of Image by using Minkowski-Form Distance” **Global Journal of Computer Science & Technology**, 11 (5) : 86 89.
- [29] Faugeras, Olivier and Luong, Quang-T. (2001). **The Geometry of Multiple Images**. MIT Press : Cambridge.
- [30] Lueder, Ernst. (2012). **3D Displays**. John Wiley & Sons : London.
- [31] University of Regina. (2012). **Matrix Transformation**.
[Online]. Available : <http://www.cs.uregina.ca/Links/class-info/405/WWW/Lab3> (July 10, 2014)
- [32] Department of Psychology: Perception Lecture Notes. New York University. (2013). **Stereo Vision**.
[Online]. Available : <https://www.cns.nyu.edu/david/course/perception/depth/depth-size-10-14-2006.htm> (July 10, 2014)
- [33] บงการ หอมนาน. (2552). “การตรวจจับขอบภาพเคลื่อนที่โดยใช้อัลกอริทึมไฮบริด” **วารสารสุทธิปริทัศน์**. 23 (71) : 133 - 146.
- [34] Homnan, Bongkarn and Benjapolakul, Watit. (2012). “Histogram Equalization based on Cumulative Density Function, Linear Function, and Pixel Position Schemes for Still Image” **IEEE ICSET**. 1 - 7.
- [35] Goshtasby, A. Ardeshir. (2005). **2-D and 3-D Image Registration: for Medical, Remote Sensing and Industrial Applications**. John Wiley & Sons : Singapore.
- [36] Homnan, Bongkarn and Benjapolakul, Watit. (2014). “Cluster Classification Characteristics of the Critical Principal Image Histogram Component” **IEEECON**. IEEE Xplore.
- [37] Macalester College. (2014). **Negative Curvature**.

[Online]. Available : <http://www.macalester.edu/academics/mscs/multimedia/>

[38] James Glyn. (2004). **Advanced Modern Engineering Mathematics**, 3rd ed, Pearson-Prentice Hall : Singapore.

[39] Wikipedia. (2014). **International Commission on Illumination**.

[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Illumination
(September 15, 2014)

[40] Wikipedia. (2014). **International Commission on Illumination 2000**.

[Online]. Available : <http://www.cie.co.at> (September 15, 2014)

[41] Wikipedia. (2014). **Histogram Equalization**.

[Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization (October 10, 2014)

[42] Cazelaïs, G. (2011). **Perimeter of An Ellipse**.

[Online]. Available : <http://docstoc.com/docs/71729675/Perimeter-of-an-ellipse>. (April 10, 2014)

[43] Kreysig, Erwin. (1999). **Advanced Engineering Mathematics**, 8th ed, Wiley-Interscience : Singapore.

[44] Wikipedia. (2014). **Ellipse**.

[Online]. Available : <http://en.wikipedia.org/wiki/Ellipse>. (October 10, 2014)

DRU

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กรณีศึกษาการปรับเท่าและแผนภูมิแท่งความถี่ภาพ

ตัวอย่างที่ ก.1

กรณี $F(l) = \mu = kl$ [34] จาก (2.5) และ (2.4) สามารถแสดงผล $f(l)$ และ $H(f(l))$ ตามลำดับด้วยสมการ

$$f(l) = \frac{dF(l)}{dl} = \frac{dkl}{dl} = k = \frac{\mu}{l} = \frac{1}{l_{max}} \quad (ก.1)$$

และ

$$H(f(l)) = \int_l f dl = \int_{l=0}^l \frac{\mu}{l} dl = \frac{l}{l_{max}} \quad (ก.2)$$

โดยที่

k คือค่าคงที่

ตัวอย่างที่ ก.2

ด้วยการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ของภาพต้นฉบับ I ในสมการที่ (2.1) ความถี่ของระดับความเข้มแสง f_l ของแผนภูมิแท่งความถี่ภาพจึงสามารถแสดงด้วยสมการ

$$f_l = n_p f(l) \quad (ก.3)$$

โดยที่

n_p คือจำนวนจุดภาพ

เพื่อให้ระดับความเข้มแสงครอบคลุมช่วง $[\max\{I\}, \min\{I\}]$ ความสัมพันธ์ของ I' และ I'' จึงสามารถแสดงได้ด้วยสมการ [41]

$$I'' = I'(\max\{I\} - \min\{I\}) + \min\{I\} \quad (ก.4)$$

และปกติฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม $F(l)$ ได้รับการกำหนดค่าในช่วงระดับความเข้มแสง $(0, l_{max}]$ ซึ่ง (2.1) (2.4) และ (2.5) การปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ใหม่ $P'(I)$ สามารถแสดงด้วยการกำหนดการวัดระดับความเข้มแสงใหม่ I' ของการปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพใหม่ด้วยสมการ [41]

$$P'(I) = P(E(I)) \triangleq l' = \text{round} \left(\frac{n_p f(I) - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right), \quad f'(l') = f(I) \quad (\text{ก.5})$$

โดยที่

$f'(\cdot)$	คือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นใหม่
F_{min}	คือความถี่สะสมต่ำสุด
l'	คือระดับความเข้มแสงใหม่
l'_{min}	คือระดับความเข้มแสงใหม่ต่ำสุด
l'_{max}	คือระดับความเข้มแสงใหม่อ่อนสุด

ตัวอย่างที่ ก.3

การหา $P'(I)$ ของภาพต้นฉบับ I ในตัวอย่างที่ ก.1 เมื่อแทน $f(I)$ ใน (2.5) ด้วย $f(I) = \frac{l}{l_{max}}$ จาก (ก.5) จึงได้ผลลัพธ์

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' &\triangleq \text{round} \left(\frac{n_p \int f dI - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{n_p \frac{l}{l_{max}} - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right), \quad F_{min} = f(1) \approx 0 \\ &= \text{round} \left(\frac{l}{l_{max}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \end{aligned} \quad (\text{ก.6})$$

กรณีกำหนดให้ภาพใหม่ I' ใช้ช่วงระดับความเข้มแสง $l'_{max} - l'_{min} + 1 = l_{max} - l_{min}^*$ พบว่าผลลัพธ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือ $P'(I) = P(E(I)) = E(I) \triangleq l' = l$ โดยที่ $f'(l') = f(I)$, $l \in [l_{min}, l_{max}]$ ดังนั้นเมื่อใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพต่อเนื่องจึงสามารถกำหนดให้ $l'_{max} - l'_{min}$ แทน $l'_{max} - l'_{min} + 1$ ผลลัพธ์ใหม่

$$P'(I) \triangleq l' = \text{round} \left(\frac{l'_{max} - l'_{min}}{l_{max}} l \right) \quad (\text{ก.7})$$

แสดงว่า l' จะปรากฏในแผนภูมิแท่งความถี่ภาพใหม่โดยมีระยะห่างระหว่างระดับความเข้มแสงประชิด $\frac{l'_{max} - l'_{min}}{l_{max}}$ และกรณีแผนภูมิแท่งความถี่ภาพไม่ต่อเนื่อง [34] $f(I)$ ในสมการที่ (2.5) และ (ก.6) แทนด้วย $f(I) = \frac{1}{l_{max} - l_{min} + 1}$ การหา $P'(I)$ ของภาพต้นฉบับ I ในตัวอย่างที่ ก.1 จะได้ผลลัพธ์

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' &= \text{round} \left(\frac{n_p \sum f - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{n_p \frac{1}{l_{max} - l_{min} + 1} - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{l}{l_{max}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \end{aligned} \quad (\text{ก.8})$$

$$\approx l, \quad l'_{max} = l_{max}, \quad l'_{min} = l_{min}$$

หมายเหตุ* l_{min} คือระดับความเข้มแสงคล้ำสุด

ตัวอย่างที่ ก.4

การหา $P'(I)$ ของภาพต้นฉบับ I เมื่อกำหนดให้ $f(l) = a_1 l$ [34] โดย a_1 คือค่าคงที่

กรณีแผนภูมิแท่งความถี่ต่อเนื่อง อ้างอิงจาก (2.4) จะได้ผลลัพธ์

$$H(f(l)) = \int_l f dl = \int_{l=0}^l a_1 dl = \frac{a_1}{2} l^2 \quad (ก.9)$$

เนื่องจาก $\frac{a_1}{2} l_{max}^2 = 1$ ดังนั้น $a_1 = \frac{2}{l_{max}^2}$ และจากสมการที่ (10) และกรณีแผนภูมิแท่งความถี่ภาพต่อเนื่องกำหนดให้ $l'_{max} - l'_{min}$ แทน $l'_{max} - l'_{min} + 1$ จะได้ผลลัพธ์

การหา $P'(I)$ ของภาพต้นฉบับ I เมื่อกำหนดให้ $f(l) = a_1 l$ [34] โดย a_1 คือค่าคงที่

กรณีแผนภูมิแท่งความถี่ต่อเนื่อง อ้างอิงจาก (2.4) จะได้ผลลัพธ์

$$H(f(l)) = \int_l f dl = \int_{l=0}^l a_1 dl = \frac{a_1}{2} l^2 \quad (ก.10)$$

เนื่องจาก $\frac{a_1}{2} l_{max}^2 = 1$ ดังนั้น $a_1 = \frac{2}{l_{max}^2}$ และจาก (ก.6) แผนภูมิแท่งความถี่ภาพต่อเนื่องกำหนดให้ $l'_{max} - l'_{min}$ แทน $l'_{max} - l'_{min} + 1$ จะได้ผลลัพธ์

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' &\triangleq \text{round} \left(\frac{n_p \int f dl - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min}) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{a_1}{2} (l'_{max} - l'_{min}) l^2 \right), \quad F_{min} = f(1) \approx 0 \end{aligned} \quad (ก.11)$$

แสดงว่า l' ต่าง ๆ จะปรากฏในช่วงระดับความเข้มแสงอ่อนมากกว่าในช่วงระดับความเข้มแสงคล้ำ

กรณีแผนภูมิแท่งความถี่ไม่ต่อเนื่อง อ้างอิงจาก (2.4) จะได้ผลลัพธ์

$$H(f(l)) = \int_l f dl = \int_{l=0}^l a_1 dl = \frac{a_1}{2} l^2 \quad (ก.12)$$

เนื่องจาก $\frac{a_1}{2} l_{max}(l_{max} + 1) = 1$ ดังนั้น $a_1 = \frac{2}{l_{max}(l_{max}+1)}$ และจาก (ก.6) จะได้ผลลัพธ์

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' &= \text{round} \left(\frac{n_p \sum f - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{n_p \frac{a_1}{2} l(l+1) - F_{min}}{n_p - F_{min}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{a_1}{2} (l'_{max} - l'_{min} + 1) l(l+1) \right), \quad F_{min} = f(1) \approx 0 \end{aligned} \quad (ก.13)$$

ตัวอย่างที่ ก.5

จาก (ก.13) ในตัวอย่างที่ ก.4 การหา $P'(I)$ ของภาพต้นฉบับ I เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์ของ $(l'_{max} - l'_{min} + 1)$ คือ $\frac{kl-k}{1-k} \geq 0.5$ และ $\frac{kl-k}{1-k} < 0.5$

กรณีที่ 1 $\frac{kl-k}{1-k} \geq 0.5$

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' = l &= \text{round} \left(\frac{kl-k}{1-k} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{\frac{l}{l_{max}} - \frac{1}{l_{max}}}{1 - \frac{1}{l_{max}}} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) \\ &= \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right), \\ &\quad \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} \right) \geq 0.5, \quad l \geq \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \end{aligned} \quad (\text{ก.14})$$

กรณีที่ 2 $\frac{kl-k}{1-k} < 0.5$

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' = l &= \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) + 1, \\ &\quad \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} \right) < 0.5, \quad l < \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \end{aligned} \quad (\text{ก.15})$$

เมื่อรวมกรณีที่ 1 และ 2 จะได้สมการ

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' = l &= \begin{cases} \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right), & l \geq \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \\ \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) + 1, & l < \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \end{cases} \\ &= \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) + u \left(\frac{1}{2} (l_{max} + 1) - l \right) \end{aligned} \quad (\text{ก.16})$$

เมื่อรวมกรณีที่ 1 และ 2 จะได้สมการ

$$\begin{aligned} P'(I) \triangleq l' = l &= \begin{cases} \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right), & l \geq \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \\ \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) + 1, & l < \frac{1}{2} (l_{max} + 1) \end{cases} \\ &= \text{round} \left(\frac{l-1}{l_{max}-1} (l'_{max} - l'_{min} + 1) \right) + u \left(\frac{1}{2} (l_{max} + 1) - l \right) \end{aligned} \quad (\text{ก.17})$$

โดยที่

$u(.)$ คือฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย

ตัวอย่างที่ ก.6

ชุดสีปฐมภูมิ RGB และแถบรังสีแสง

ชุดสีปฐมภูมิ RGB ประกอบด้วยสีปฐมภูมิจำนวน 3 สี โดยสีปฐมภูมิของจุดภาพแต่ละจุดแสดงคุณลักษณะของสีปฐมภูมิ ได้แก่ แถบรังสีความยาวคลื่นแสงที่สะท้อนจากวัตถุทำให้สามารถมองเห็นสีต่าง ๆ ของวัตถุจากสีปฐมภูมิ ได้แก่ สีปฐมภูมิแดง สีปฐมภูมิเขียว และสีปฐมภูมิน้ำเงิน ในทางตรงกันข้าม แถบรังสีความยาวคลื่นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นปรากฏนอกแถบรังสีของแสงที่สามารถมองเห็น

ในสิ่งแวดล้อมแถบรังสีความยาวคลื่นแสงของชุดสีปฐมภูมิแคบ สามารถใช้แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสำหรับภาพที่สามารถแสดงจำนวนจุดภาพ n_p ของภาพสีที่ปรากฏ และภาพสีที่ถูกจัดแบ่งส่วนภาพในจำนวนที่เหมาะสมตามแถบรังสีที่ได้รับการกำหนด โดยระดับสีที่จัดอยู่ในกลุ่มสีเดียวกันสามารถปรับแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีด้วยฟังก์ชันที่เน้นความโค้งเข้ามาเพิ่มขึ้นเพื่อเน้นสีในกลุ่มสีเดียวกัน จากการกำหนดด้วยแถบรังสีปกติในกลุ่มสีเดียวกัน ดังนั้นแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีจึงเป็นแผนภูมิเชิงสถิติที่สามารถแจกแจงระดับสีที่ได้รับการกำหนดอย่างต่อเนื่อง

แผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีมีโครงสร้างชุดสีปฐมภูมิซึ่งมีอัตราส่วนสีปฐมภูมิอย่างยืดหยุ่นจึงสามารถแสดงภาพสีในภาพตามชุดสีปฐมภูมิได้อย่างต่อเนื่องและมีมิติจากอัตราส่วนสีปฐมภูมิ เช่น ชุดสีปฐมภูมิ RGB ใช้แสดงส่วนภาพสีจากอัตราส่วนสีปฐมภูมิ และจากสมการที่ (ก.6) การปรับเท่าฐานแผนภูมิแท่งความถี่ภาพสีใหม่สามารถแสดงด้วยสมการ

$$P'(X) \equiv I'_X = \text{round} \left(\frac{n_p F(I'_X) - F_{\min}}{n_p - F_{\min}} (I'_{\max} - I'_{\min} + 1) \right), \quad f'(I'_X) = f(I_X) \quad (\text{ก.18})$$

โดยที่

B	คือภาพสีปฐมภูมิน้ำเงิน
G	คือภาพสีปฐมภูมิเขียว
I'_X	คือระดับความเข้มแสงใหม่ของ X
R	คือภาพสีปฐมภูมิแดง
X	คือปัจจัยขาเข้าหลักโดยกำหนดตามรูปแบบ และ $X \in \{R, G, B\}$

ภาคผนวก ข

ชุดตำแหน่งปริภูมิเลอเบก

การกำหนดชุดตำแหน่งในปริภูมิเลอเบก (Lebesgue space) สามารถใช้เลขชี้กำลังปริภูมิ p ระบุด้วยค่าจำนวนจริง $p \geq 1$ แก่ปริภูมิ แสดงด้วยปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p หรือ L^p [2] ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มปริภูมิรูปแบบการเชื่อมต่อฐานปริภูมิลูกศรสมมติ (vector) เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพ ยกตัวอย่าง ปริภูมิบานาค (Banach space) [9]

สมาชิกในปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง L^p หรือ x ปรากฏในชุดตำแหน่ง (locus) ในปริภูมิ สามารถกำหนดตามขนาดปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p หรือ $\|x\|_p$ แสดงด้วยสมการ

$$\|x\|_p = (|x_1|^p + |x_2|^p + \dots + |x_n|^p)^{\frac{1}{p}}. \quad (\text{ข.1})$$

และขนาดฟังก์ชันในปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p หรือ $\|f(x)\|_p$ ของปริภูมิ S แสดงด้วยสมการ

$$\|f(x)\|_p = \left(\int_S |f(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (\text{ข.2})$$

ฟังก์ชันในปริภูมิเลอเบกฐานเลขชี้กำลัง p ของ x หรือ $L^p(x)$ สามารถระบุชุดตำแหน่งในภาพสามารถกำหนดด้วย $\|x\|_p$ โดยกำหนดค่า $p \in (1, \infty)$ ได้แก่ ชุดตำแหน่งสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน $\|x\|_1$ ชุดตำแหน่งวงกลม $\|x\|_2 \leq \sqrt{n}\|x\|_1$ หรือถึงชุดตำแหน่งสี่เหลี่ยมจัตุรัส $\|x\|_\infty$

อสมการที่ปรากฏข้างต้นสอดคล้องกับเงื่อนไขอสมการโคชี-ชวาร์ซ (Cauchy-Schwarz's inequality) นอกจากนี้ ชุดตำแหน่งแสดงความโค้งในภาพสามารถกำหนดด้วยชุดตำแหน่ง $\|x\|_p$ โดยกำหนดค่า $p \in (0, 1)$

เมื่อ $p \in (1, \infty)$ ปริภูมิ L^p มีคุณสมบัติสมสัณฐาน (isomorphism) กับปริภูมิ L^q ด้วยเงื่อนไข

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1. \quad (\text{ข.3})$$

ดังนั้นจึงสามารถแสดงฟังก์ชัน $g(x) \in L^q(x)$ ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไข

$$K_p(g(x)) \in L^p(x)^*. \quad (\text{ข.4})$$

โดยที่

$K_p(\cdot)$ คือฟังก์ชันจับคู่เชิงเส้นของอสมการฮิลเดอรัลจาก $L^q(x)$ ไปยัง $L^p(x)^*$

ยกตัวอย่าง K_1 แสดงคุณสมบัติสมมูลฐานในปริภูมิบานาคจาก $L^\infty(x)$ ไปทั่ว
 $K_1(g(x) \in L^\infty(x)) \in L^1(x)^*$
 $K_p(g(x)) \in L^p(x)^*.$ (ข.3)

ตัวอย่างที่ ข.1

จงแสดงตัวอย่างสมการชุดตำแหน่งในภาพที่สร้างจากการเชื่อมต่อเส้นตรงระยะสั้นที่มีขนาดต่าง ๆ
 ประกอบกัน และเลขชี้กำลังปริภูมิ p ระบุด้วยค่าจำนวนจริง $p \geq 1$

ชุดตำแหน่งรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนกำหนดใช้ $p = 1.0$ และชุดตำแหน่งรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส
 กำหนดใช้ $p = \infty$

หมายเหตุ ชุดตำแหน่งรูปวงกลมใช้ $p = 2.0$ ตัวอย่างชุดตำแหน่งรูปผสมเข้าใกล้วงกลมใช้ $p = 2\sqrt{2}$
 ตัวอย่างชุดตำแหน่งรูปผสมเข้าใกล้สี่เหลี่ยมใช้ $p = 8.0$

ภาคผนวก ค

เส้นรอบวงของวงรี

สมการวงรีโดยทั่วไป แสดงด้วยสมการ

$$\frac{x^2}{a_s^2} + \frac{y^2}{b_s^2} = 1 \quad (\text{ค.1})$$

โดยที่

- φ . คือมุมเรเดียน โดย $0 \leq \varphi \leq 2\pi$
- a_s . คือมุมครึ่งแกนหลัก โดย $a_s = \frac{x}{\cos \varphi}$ และ
- b_s . คือมุมครึ่งแกนหลัก โดย $b_s = \frac{y}{\sin \varphi}$

เส้นรอบวง p วงรี [42] [43] สามารถแสดงด้วยสมการ

$$p = 4a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - (\epsilon \cos \varphi)^2} d\varphi. \quad (\text{ค.2})$$

โดยที่

- ϵ . คือความเยื้อง โดย $\epsilon = \sqrt{1 - \frac{b_s^2}{a_s^2}}$

เนื่องจาก $0 \leq (\epsilon \cos \varphi)^2 < 1$ จึงสามารถแสดงเส้นรอบวง p วงรีใน (ค.2) ด้วยสูตรทวินาม

$$(1+x)^k, \quad -1 < x < 1$$

$$(1+x)^k = 1 + kx + \frac{k(k-1)}{2!}x^2 + \frac{k(k-1)(k-2)}{3!}x^3 + \dots \quad (\text{ค.3})$$

โดยที่

เมื่อกำหนด $k = \frac{1}{2}$ และ $x = -(\epsilon \cos \varphi)^2$ จึงสามารถแสดง $\sqrt{1 - (\epsilon \cos \varphi)^2}$ ด้วยสมการ

$$\sqrt{1 - (\epsilon \cos \varphi)^2} = 1 - \frac{(\epsilon \cos \varphi)^2}{2} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-3)(\epsilon \cos \varphi)^{2n}}{2^{n-1}n!} + \dots \quad (\text{ค.4})$$

โดยการแทน (ค.4) ใน (ค.2) เส้นรอบวง p จึงแสดงด้วยสมการ

$$p = 4a_s \int_0^{\frac{\pi}{2}} 1 - \frac{(\epsilon \cos \varphi)^2}{2} d\varphi - 4a_s \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-3)(\epsilon \cos \varphi)^{2n}}{2^{n-1}n!} d\varphi. \quad (\text{ค.5})$$

ปริพันธ์โคซายน์ (cosine integral) ใน (ค.5) สอดคล้องกับสูตรวอลล์ (Walls' formula)

$\int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos \varphi)^{2n} d\varphi$ แสดงด้วยสมการ

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos \varphi)^{2n} d\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdots \frac{2n-1}{2n} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2^n n!} \cdot \frac{\pi}{2}. \quad (\text{ค.6})$$

โดยการแทน $\int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos \varphi)^{2n} d\varphi$ (ค.6) [42] [44] ใน (ค.5) เส้นรอบวง p จึงแสดงด้วยสมการ

$$p = 2\pi a_s \left(1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2n} \right)^2 \cdot \frac{e^{2n}}{2n-1} \right). \quad (9.7)$$

DRAFT

ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน

ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา วศ.บ. (ไฟฟ้า) วศ.ม. (ไฟฟ้าสื่อสาร) และ วศ.ด. (ไฟฟ้าสื่อสาร) (Ph.D./CU-OSAKA U.) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย พ.ศ. 2537 2541 และ 2545 โดยอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบนญพลกุล พร้อมการสนับสนุนจาก AGC Siemens MICT NECTEC และ OSAKA U./RGJ ตามลำดับ ผู้วิจัยร่วมงานโครงข่าย GSM บริษัท AWN กรุงเทพฯ ประเทศไทย พ.ศ. 2537 จากนั้นร่วมวิจัยในกลุ่มมหาวิทยาลัยในโครงการ IMT-2000 และ Komaki Lab. จาก Fac. Of Comm. แห่ง OSAKA U. (Japan) ในปี พ.ศ. 2545

ระหว่าง พ.ศ. 2539-ปัจจุบัน ผู้วิจัยทำงานในโครงข่าย GSM (Ericsson HP Motorola Nokia Siemens Sun และ TOT) และ WLAN (Cisco/AIT) ตลอดจนเข้าร่วมสัมมนาวิชาการและวิจัยในโครงข่าย CDMA (Lucent/CAT และ HP) โดยเฉพาะเรื่อง Handover Soft handoff และ Fast handoff ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการจัดการคุณภาพของสัญญาณและคุณภาพของการบริการในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่ นอกจากนี้ผู้วิจัยร่วมมือกับ MUA ในการดำเนินการหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายโทรคมนาคมและสัมมนาวิชาการ โครงข่ายโทรคมนาคมด้วยการสนับสนุนโดย Ericsson/SIDA (Sweden) และความร่วมมือจาก CAT COE NBTC และ RTAF ประเทศไทย

คณะวิจัยได้รับรางวัล travel grant ใน The 5th CDMA International Conference (South Korea)/CDG พ.ศ. 2543 เกี่ยวกับหัวข้อวิจัย FIS soft handoff ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.ศ. 2545 เกี่ยวกับหัวข้อวิจัย IP handoff และรองศาสตราจารย์ พ.ศ. 2547 เกี่ยวกับหัวข้อวิจัย DP fast handoff ทั้งนี้ คณะวิจัยได้เยี่ยมชม NTT DoCoMo (Japan)/CU OSAKA U. RGJ พ.ศ. 2544 ผ่นพบกับเยี่ยมชม CDAC (India)/DPU พ.ศ. 2545 จากนั้น พ.ศ. 2550 คณะวิจัยได้ดำเนินการโครงการวิจัยระบบการเฝ้าระวังภาพเคลื่อนไหวในโครงข่ายสื่อสารและ 4G order-handoffs รวมถึงดำเนินการโครงการวิจัยการประมวลผลภาพขั้นสูง (MATLAB/DPU-CU) โดยร่วมดำเนินการในการประชุมวิชาการนานาชาติ อาทิ session chair การประมวลผลภาพและวิทัศน์ใน ISCIT 2013/ECTI-IEEE CSS พ.ศ. 2556 รวมถึงได้รับทุนวิจัยจากศูนย์วิจัยในการทำวิจัยเรื่องระบบการปรับแก้ภาพสี 3 มิติไม่สมมาตร พ.ศ. 2557 โดยร่วมเสนองานวิจัยเรื่อง Active Principal Components of Image Histogram Sets for Affine and Non-Affine Aspects ใน ICACCI 2014 (India)/GCET IEEE ATH IEEE ComSoc และ IEEE SMC พ.ศ. 2557

ปัจจุบันผู้วิจัยสังกัดศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ และดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรบัณฑิตศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม