

การตรวจจับสีของวัตถุด้วยวิธีการของฟัซซี่

A FUZZY APPROACHING COLOR OBJECT DETECTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

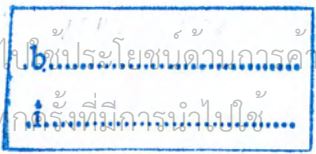
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

เลขทะเบียน.....ทุกสิ่งทุกอย่างที่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน,เดือน,ปี 7 เม.ย. 2548



A FUZZY APPROACHING COLOR OBJECT DETECTION




A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การตรวจจับสีของวัตถุด้วยวิธีการของฟัซซี่
A FUZZY APPROACHING COLOR OBJECT DETECTION
นักศึกษาผู้จัดทำ นายชาติ การพัคชีย์ รหัสประจำตัว 44015513
นายสัตยา เอี่ยมจันทร์จรัส รหัสประจำตัว 44015538
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.ทวีพล ช่อสัคย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วัน พุธ ที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2547
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การตรวจจับสีของวัตถุด้วยวิธีการของฟัซซี่
A Fuzzy Approaching Color Object Detection

นักศึกษผู้จัดทำ นายชาติ การพัชรี
นายสัตยา เอี่ยมจันทร์จรัส

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ทวีพล ช่อสัตย์

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอ การตรวจจับสีของวัตถุด้วยวิธีการของฟัซซี่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ใน งานอุตสาหกรรมร่วมกับเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้สำหรับการคัดแยกวัตถุที่มีสีต่างกัน โครงการ นี้อาศัยการวิเคราะห์ภาพและสีร่วมกับวิธีการของฟัซซี่ ให้สามารถแยกความแตกต่างของสีบนวัตถุ ได้ โดยใช้กล้องจับภาพส่งสัญญาณภาพผ่านพอร์ต USB มายังคอมพิวเตอร์ และ โปรแกรมที่พัฒนา จาก Visual Basic 6.0 สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ จะทำหน้าที่แยกสี และระบบสีจากภาพนั้น เพื่อส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS232C ให้กับระบบควบคุมที่โปรแกรมได้ (PLC) ทำการควบคุม กระบวนการต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title A Fuzzy Approaching Color Object Detection
Authors Mr. Chatree Karnpudchee
Mr. Sattaya Iemchancharat
Thesis Adviser Mr. Taweepol Suesut
Year 2003

ABSTRACT

This project presents a fuzzy approaching color object detection for applying in industrial environment with the Programmable Logic Controller (PLC) System. The color detection using the image analysis and fuzzy approached from web camera through USB port. The computer software, which developed by Visual Basic 6.0 for windows operating system, can be able identify the color on object and sent information via RS232C serial port to the PLC system for controlling any process.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเพราะ ได้รับความเมตตาจาก ผศ.ทวีพล ชื่อสัตย์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอพระคุณคุณพ่อคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IIIIV
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวความคิดในการนำเสนอปริศยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริศยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริศยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดสี.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็น.....	3
2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source).....	4
2.2.1.1 แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ.....	4
2.2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์.....	5
2.2.2 วัตถุมีสี (Colored Object).....	8
2.2.2.1 ปราคฏการณ์ Specular Reflection.....	8
2.2.2.2 ปราคฏการณ์ Diffuse Reflection.....	8
2.2.2.3 ปราคฏการณ์ Diffuse Transmission.....	9
2.2.2.4 ปราคฏการณ์ Regular Transmission.....	9
2.2.3 ผู้สังเกตการณ์.....	9
2.3 ระบบการวัดสี.....	10
2.3.1 แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (Illuminants).....	10
2.3.2 วัตถุมีสี.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน.....	12
2.3.4 CIE Tristimulus Value.....	14
2.3.5 CIE Chromaticity Coordinates.....	14
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีพีชชีที่ใช้ในการออกแบบ.....	17
3.1 กล่าวนำ.....	17
3.2 พีชชีเซต.....	20
3.3 ตัวดำเนินการพีชชีเซต.....	22
3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	25
3.4.1 สมการเชิงเส้น.....	25
3.4.2 รูปสามเหลี่ยม.....	25
3.4.3 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	25
3.4.4 เส้นโค้งรูปตัว S.....	25
3.4.5 รูปประมังกว่า.....	25
3.5 ตัวอย่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	25
3.5.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (Much greater than).....	25
3.5.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (Much less than).....	26
3.5.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (approximately equal to).....	26
3.5.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ Young, middle-aged และ old.....	27
3.5.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการกะประมาณ About	29
3.5.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง Near and far.....	29
3.5.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าจะเป็น Possible, very possible, fairly possible, almost definite, almost impossible and finite.....	29
3.5.8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถ excellent, good, moderate and bad.....	32
3.5.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสูง high.....	33
3.5.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือระยะเวลา long.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 ตรรกแบบพีชชี	34
3.6.1 การคิดหาเหตุผลโดยใช้ตรรกแบบพีชชี.....	36
3.6.2 การคำนวณภาษาธรรมชาติ.....	38
บทที่ 4 การติดต่อสื่อสารและการส่งผ่านข้อมูล.....	41
4.1 กล่าวนำ.....	41
4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	41
4.2.1 การส่งข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) และ ดูเพล็กซ์ (Duplex).....	42
4.2.2 โพรโตคอลของการสื่อสารแบบอนุกรม.....	42
4.2.3 มาตรฐานสัญญาณอนุกรมแบบ RS232C.....	44
4.3 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้(PLC).....	48
4.3.1 ส่วนประกอบของ PLC.....	48
4.3.1.1 หน่วยความจำ (Memory Unit).....	49
4.3.1.2 หน่วยความจำชนิดต่างๆ.....	49
4.3.1.3 หน่วยประมวลผลกลาง CPU.....	50
4.3.2 ส่วนของหน่วยรับข้อมูลและส่งข้อมูล (I/O Unit).....	51
4.3.3 เครื่องป้อนโปรแกรม (Programming Device, Hand Held).....	51
4.4 การติดตั้ง Host Link Unit.....	51
4.4.1 ระดับปฏิบัติการ.....	54
4.4.2 การเลือกชนิดของการเชื่อมต่อ(Link Type Selector).....	54
4.4.3 ระดับความต้องการในการติดต่อกับ PLC (Command Levels).....	55
4.5 การส่งสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุม PLC.....	55
4.5.1 รูปแบบของบล็อก (BLOCK FORMAT)	56
4.6 Parallel Interface	56
4.6.1 ขั้นตอนการส่งข้อมูล.....	57
4.6.2 ลักษณะสัญญาณ.....	58
4.6.3 Port Address.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การออกแบบและทดลอง.....	61
5.1 กล่าวนำ.....	61
5.2 การออกแบบและผลการทำงาน.....	61
5.3 การออกแบบพีซีเซตที่ใช้ในโปรแกรม.....	64
5.4 การทำให้โปรแกรมCaptureภาพของวัตถุแล้วนำมาวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ.....	71
5.5 ระบบสายพานลำเลียง (Line Conveyer).....	72
5.6 การทำงานของระบบ.....	73
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	76



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร.....	4
3.1 แสดงระดับความเป็นสมาชิกของช่วงอายุต่างๆ.....	19
3.2 แสดงตาราง Operation of Three-valued Logic.....	35
4.1 แสดงมาตรฐานของการใช้แรงดันไฟฟ้า.....	47
4.2 แสดงการกำหนดสวิตช์ Unit No. (หมายเลขหน่วย).....	52
4.3 แสดงการกำหนด Mode.....	52
4.4 แสดงการกำหนด Parity / Transmission code.....	53
4.5 แสดงการกำหนด Baud Rate.....	53
4.6 แสดงการกำหนดระดับการปฏิบัติการ.....	54
4.7 แสดงการกำหนดประเภทของการเชื่อมต่อ.....	54
4.8 แสดงการกำหนด Command Level.....	54
4.9 แสดงลักษณะของขาสัญญาณใน Port แบบ D type 25.....	59
4.10 แสดง Address ของ Parallel Port.....	60
4.11 แสดงตำแหน่ง Address ที่เก็บข้อมูลของ Parallel Port.....	60
4.12 แสดงตำแหน่ง Address ที่เก็บข้อมูลของ Serial Port.....	60
5.1 แสดงค่าสัดส่วนสูงสุดและต่ำสุดของสีแดงและสีเขียวในวัตถุ.....	64
5.2 สรุปกฎการควบคุมที่ใช้ในโรงงาน.....	69

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการรับรู้สีของมนุษย์.....	3
2.2 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.3 แสดงการกระจายพลังงานของแสงแดดบริเวณต่างๆ.....	5
2.4 แสดงการกระจายพลังงานของหลอด Incandescence.....	5
2.5 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดทั้งสแตน.....	6
2.6 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	7
2.7 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ.....	8
2.8 แสดงปรากฏการณ์ Scattering และการ Absorption.....	8
2.9 แสดงปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบวัตถุชนิดต่างๆ.....	9
2.10 แสดงภาคตัดขวางของตามนุษย์.....	9
2.11 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน CIE ต่าง ๆ กัน.....	11
2.12 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D55, D65, D75.....	11
2.13 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65.....	12
2.14 แสดง Reflectance curve ของวัตถุต่างๆ.....	13
2.15 แสดง $2^\circ, 10^\circ$ 1964 CIE Standard Observer.....	13
2.16 แสดง CIE Tristimulus Value.....	14
2.17 แสดง CIE Chromaticity Diagram.....	15
2.18 แสดง MacAdam Ellipse.....	16
3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกของเด็กในเซตธรรมดา กับ ฟิชชีเซต.....	18
3.2 แสดงระดับความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีของฟิชชีเซต.....	19
3.3 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (much greater than).....	26
3.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (much less than).....	26
3.5 ก. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (approximately equal to).....	27
3.5 ข. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ (approximately equal to).....	27
3.6 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ young.....	28
3.7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ middle-aged.....	28
3.8 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ old.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการกะประมาณ about.....	29
3.10 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง near.....	30
3.11 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง far.....	30
3.12 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ possible, very possible, fairly possible, almost definite, almost impossible and finite.....	32
3.13 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถ excellent, good, moderate and bad.....	33
3.14 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสูง high.....	33
3.15 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือระยะเวลา long.....	34
4.1 แสดงการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบต่างๆ.....	42
4.2 แสดงแบบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....	44
4.3 แสดงลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของการอินเทอร์เฟซแบบ RS232C.....	44
4.4 แสดงพอร์ต RS-232C และตำแหน่งขา.....	45
4.5 แสดงการต่อสายสัญญาณแต่ละขาของ RS-232.....	46
4.6 แสดงการต่อสายสัญญาณ RS-232 โดยไม่คำนึงถึงสัญญาณ Hand Shaking.....	46
4.7 แสดงย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS-232.....	47
4.8 แสดงโครงสร้างของ PLC.....	49
4.9 แสดง Input /Output Scan และ Program Scan.....	50
4.10 แสดง Dip switch 1 ของ Host Link Unit.....	51
4.11 แสดง Dip switch 2 ของ Host Link Unit.....	53
4.12 แสดงการส่งสัญญาณควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรม RS 232.....	55
4.13 แสดงแบบของบล็อกคำสั่ง.....	56
4.14 แสดงการ Handshake ในแบบ Centronics.....	58
5.1 แสดงรายละเอียดของโปรแกรม.....	61
5.2 แสดงรายละเอียดของโปรแกรมเมื่อมีการทำงาน.....	62
5.3 แสดงจุดสีแต่ละจุดประกอบกันเป็นภาพ 1 ภาพ.....	62
5.4 แสดงการนำสัดส่วนสีทั้งสองเข้าระบบพีซี.....	63
5.5 แสดงลักษณะของเซตสามเหลี่ยมที่จะกำหนดให้อินพุท.....	65
5.6 แสดงการแบ่งช่วงสีโดยใช้สัดส่วนสีแดง และ สีเขียว.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ*ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.7 แสดงการพีชชีพีเคชั่น โดยใช้เซตแบบซิงเกิลตัน.....	69
5.8 แสดงกระบวนการทางพีชชี.....	70
5.9 แสดงระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนระบบสายพานลำเลียง.....	72
5.10 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของระบบ.....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการนำเสนอปรินทิพ

แนวความคิดในการนำเสนอรายงานฉบับนี้ เริ่มต้นมาจากความต้องการหาเครื่องมือที่สามารถจะนำมาแยกสีของวัตถุหรือชิ้นงานในกระบวนการแทนเซนเซอร์สีที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบความถูกต้องในการประกอบชิ้นส่วนในกระบวนการผลิต หรือจะเป็นการตรวจแยกชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของชิ้นงานในกระบวนการผลิต ที่มีรายการผลิตเพียง 1 รายการผลิตแต่ต้องผลิตชิ้นงานมากกว่า 1 ชนิด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดเป็นของชนิดอะไร ซึ่งถ้าในกระบวนการจะต้องใช้คนงานในการแยกแยะก็จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินงาน ดังนั้นเราจึงต้องมีเครื่องมือที่สามารถทำงานแทนมนุษย์ในส่วนของการแยกสีที่มีความน่าเชื่อถือได้ สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานได้ง่าย และสามารถทำงานแบบ REAL TIME ได้

คณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาวิธีการที่จะตรวจจับสีของวัตถุ โดยใช้กล้อง WebCam ร่วมกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ประมวลผลและเป็นส่วนที่รับรู้สี ซึ่งจะใช้วิธีการทางพีซีเข้ามาช่วยในการประมวลผล และได้ออกแบบโปรแกรมให้สามารถเชื่อมต่อกับ เครื่องควบคุมพีแอลซี (Programmable Logic Control :PLC) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลของเซนเซอร์ไปที่คอมพิวเตอร์ และรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มาควบคุมกระบวนการ นอกจากนี้การติดต่อกับเครื่องควบคุมพีแอลซี (Programmable Logic Control :PLC) ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแล้วคณะผู้จัดทำยังได้เขียนโปรแกรมให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานได้อีกทางหนึ่งเพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของปรินทิพ

- 1.เพื่อหาเครื่องมือที่สามารถตรวจจับสี แทนเซนเซอร์สีที่มีใช้ในปัจจุบัน
- 2.สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อนำมาวิเคราะห์สีจากภาพที่มาจาก กล้อง WebCam ให้สามารถรับรู้ได้ว่าภาพของวัตถุที่นำมาวิเคราะห์มีสีอะไร และการวิเคราะห์ต้องเป็นแบบ Real Time
- 3.สามารถนำเอาผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปควบคุมกระบวนการอัตโนมัติได้
- 4.สามารถเขียนโปรแกรมติดต่อกับอุปกรณ์ควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมและพอร์ตขนานได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.เขียนโปรแกรมวิเคราะห์สีจากภาพที่ได้จากกล้อง WebCam โดยใช้หลักการทางพีชคณิต
- 2.นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ
- 3.เขียนโปรแกรมให้ส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมและพอร์ตขนาน



บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดสี

2.1 กล่าวนำ

สี เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วัตถุเป็นที่สนใจต่อผู้พบเห็น แม้แต่ในการเลือกใช้วัตถุใดๆ อาจกล่าวได้ว่าในปัจจุบันสีของวัตถุที่เหมาะสม สวยงามเหมาะสมนับเป็นจุดสำคัญต่อการเลือกใช้หรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพวัตถุ หรือควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีสีที่เหมาะสม สม่ำเสมอ รวมทั้งการเลือกใช้วัตถุหรือผลิตภัณฑ์ก็ยังคงต้องใช้สายตาของมนุษย์ในการตัดสินใจ แต่การมองเห็นที่เกิดจากตาหรือสมองเป็นตัวสั่งการของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไปตามอายุ เพศ และประสบการณ์ที่เคยได้รับ ดังนั้นเพื่อเป็นการกำจัดข้อขัดแย้งต่างๆ เกี่ยวกับการมองเห็น และเพื่อเป็นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบสีของสากล จึงได้มีการพัฒนาการวัดสีในระบบตัวเลขซึ่งเรียกว่า Objective และการที่จะเข้าใจถึงวิธีการวัดสีที่ให้ค่าเป็นตัวเลข จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับทฤษฎีเบื้องต้นเสียก่อน

2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็น

โดยทั่วไปมนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุได้ก็เนื่องมาจากปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการรับรู้สีของมนุษย์

แสงสว่างที่ตกกระทบวัตถุจะเกิดการสะท้อนเข้าสู่ตาของผู้มอง แสงดังกล่าวจะไปกระตุ้นการทำงานของบนเรตินา ซึ่งประกอบไปด้วย Rod cell ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีความไวต่อแสงแต่จะไม่เกิดการรับรู้สีของวัตถุ และ Cone cell ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีความไวต่อแม่สีทางแสง 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน จะส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อทำการแปลหรือวิเคราะห์สีนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

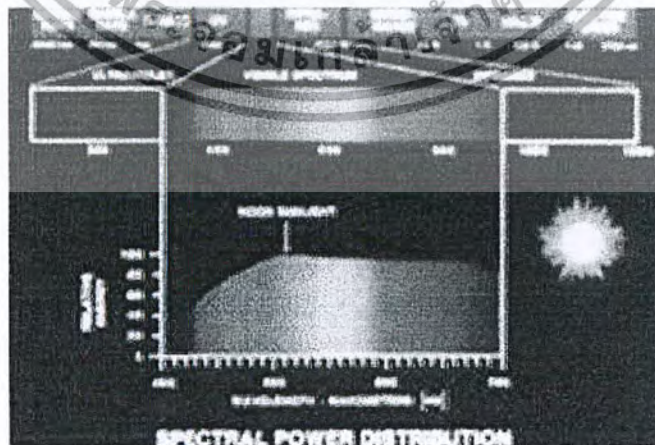
2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) คือแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการมองเห็นวัตถุและสีของวัตถุมี 2 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นมา

2.2.1.1 แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ เช่น แสงแดด (Daylight) ก่อนที่จะส่องผ่านมายังโลกจะเกิดการกระเจิง (Scattering) ของแสง หรือถูกดูดกลืนบางส่วนไว้ในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่ เช่น ไอน้ำ โอโซน เป็นต้น จากนั้นจึงส่องผ่านมายังโลก เมื่อเราให้แสงแดดซึ่งเป็นแสงขาวส่องผ่านปริซึม แสงแดดจะถูกแยกออกเป็นแถบแสงที่มีสีต่างๆ โดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร (Visible Light)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	แสงสี
400-430	ม่วง
430-460	น้ำเงิน
460-500	เขียวแกมน้ำเงิน
500-530	เขียว
530-560	เขียวแกมเหลือง
560-590	เหลือง
590-620	ส้ม
620-700	แดง

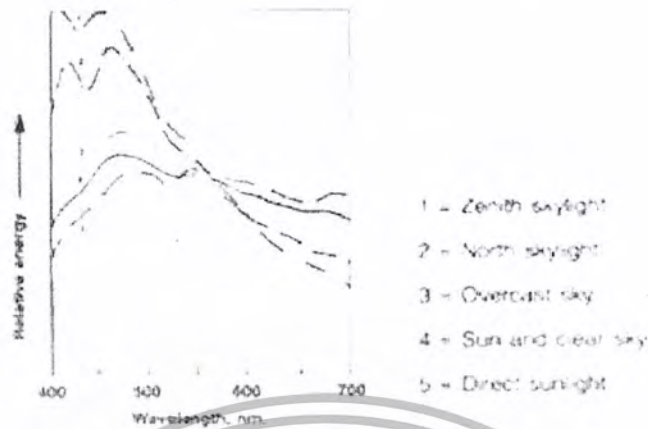
แสงที่มองเห็นได้นี้จะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงแดดตามธรรมชาติจะมีการกระจายพลังงาน(Spectral Power Distribution:SPD)แตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฤดู และช่วงเวลา ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการกระจายพลังงานของแสงแดดบริเวณต่างๆ

จากภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าแสงแดดบริเวณ Zenith จะมีสีฟ้ามากที่สุด และสีฟ้าจะลดลงมากสำหรับแสงแดดในบริเวณขั้วโลกเหนือ (North Skylight) ดังนั้น การมองเห็นแสงแดดที่เวลาต่างกันบริเวณต่างกันจะทำให้เกิดการรับสีได้ต่างกัน

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่

- หลอดไฟ (Incandescence) แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้เกิดจากการให้ความร้อนแก่โลหะทองเหลือง จนกระทั่งทองเหลืองปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา หลังจากให้ความร้อนเรื่อยๆ โลหะทองเหลืองจะคุแแดงตุ่นๆ จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีแดงสด สีเหลือง และ สีฟ้า สีของแสงที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของโลหะ กล่าวคือความยาวคลื่นของแสงสามารถลดลงเมื่ออุณหภูมิของโลหะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกระจายพลังงานของแสงจากหลอดไฟ Incandescence จะเกิดขึ้นอยู่อุณหภูมิของโลหะที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.4 แสดงการกระจายพลังงานของหลอด Incandescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

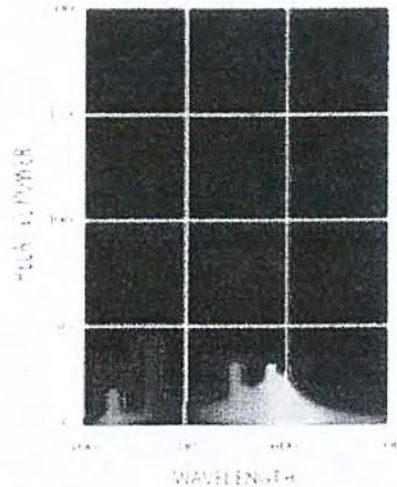
- หลอดทังสแตน (Tungsten Filament Lamp) แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้เกิดจากการให้ความร้อนแก่ลวดทังสแตน โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดแก้วที่บรรจุก๊าซเฉื่อย หรือลดความดันอากาศลง เพื่อให้ลวดทังสแตนเกิดการออกซิเดชันน้อยที่สุด การให้ความร้อนแก่ลวดทังสแตนนี้ จะทำให้เกิดพลังงานออกมามีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตรและมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

ภาพที่ 2.5 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดทังสแตน

- หลอดทังสแตน – ฮาโลเจน (Tungsten – Halogen Lamp) แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้มีข้อดีกว่าหลอดทังสแตนแบบเดิม กล่าวคือหลอดไฟทังสแตนแบบเดิมเมื่อได้รับความร้อนแล้วไอระเหยของทังสแตนจะไปเกาะที่ผนังด้านข้างของหลอดแก้ว ทำให้หลอดแก้วดำขึ้นเรื่อย ๆ และทำให้ความสว่างของหลอดแก้วลดลง เมื่อใช้ไปนาน ๆ แต่เมื่อมีแก๊ส ฮาโลเจน เช่น ไอโอดีน หรือ โบรมีนอยู่ในหลอดในปริมาณเล็กน้อย ก็จะทำให้ไอระเหยของทังสแตนไปรวมกับฮาโลเจน เกิดเป็นทังสแตนเฮไลด์แทนที่จะไปเกาะที่ผนังของหลอดแก้ว และเมื่อทังสแตนเฮไลด์มากระทบกับลวดทังสแตนจะเกิดการแยกตัว โดยทังสแตนจะไปเกาะติดอยู่ที่บริเวณไส้หลอด ส่วนฮาโลเจนจะกระจายเป็นแก๊สไหลวนอยู่ภายในหลอดแก้ว ทำให้หลอดแก้วไม่ดำ นอกจากนี้หลอดทังสแตน-ฮาโลเจนก็จะมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย แสงจากหลอดทังสแตน-ฮาโลเจนจะเป็นแสงที่มีการกระจายพลังงานอย่างต่อเนื่อง

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescence Lamp) พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเกิดจากการที่ไอปรอทแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงพลังงานแสงที่มองเห็นได้ (Visible) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Nonvisible Ultraviolet Ray) โดยพลังงานที่มีความยาวคลื่นบางช่วงจะส่องผ่านผงฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบอยู่ด้านในของหลอดออกไปในขณะเดียวกับที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดขึ้นจะถูกผงฟลูออเรสเซนต์ดูดไว้ และปล่อยพลังงานในช่วงพลังงานแสงที่มองเห็นได้ (Visible Region) เป็นแถบสเปกตรัมต่อเนื่องทำให้เกิดการเรืองแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



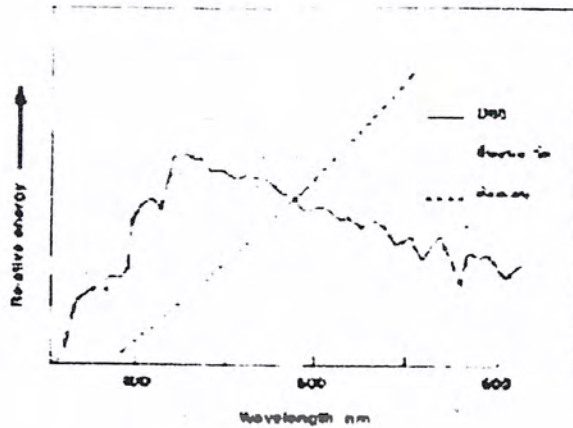
ภาพที่ 2.6 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ในทางการค้า มีอยู่หลายชนิดซึ่งใช้สเปกตรัมที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับผงฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบภายในหลอด เช่น Metal tungsten, silicates, borates, arsenates, halophosphates เป็นต้น ตัวอย่าง เช่น ถ้าใช้ halophosphates จะปล่อยพลังงานแสงออกมาในช่วงแสงสีเหลือง-เขียว แต่จะมีปริมาณของสีแดงที่ต่ำมาก เป็นต้น

- อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ซึ่งอาศัยการเคลื่อนที่ของพาหะตัวนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ เพื่อให้เกิดเป็นแหล่งกำเนิดแสงได้ เช่น โฟโตไดโอดชนิดต่างๆ Full Color LED, Laser Diode เป็นต้น

- หลอดไฟซีนอนอาร์ค (Xenon Arc Lamp) การให้แสงของหลอดซีนอนอาร์คเกิดจากการให้กระแสไฟฟ้าผ่านแก๊ส ทำให้เกิดแสงที่มีกระจายพลังงานอยู่ระหว่างช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตและรังสีอินฟราเรด และเมื่อเราใช้ที่กรองแสงเพื่อลดรังสีอัลตราไวโอเลตอย่างสม่ำเสมอ และใช้ที่กรองความร้อนลดความเข้มของรังสีอินฟราเรดให้ต่ำลงแล้ว จะทำให้หลอดไฟซีนอนอาร์คเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงาน ที่ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานของ CIE D65 หรือแสงแดดในตอนกลางวัน

นอกจากนี้หลอดไฟซีนอนอาร์คที่ให้ไฟกะพริบ(Xenon Flash Lamps) จะมีข้อได้เปรียบคือ จะให้แสงที่มีความเข้มสูงซึ่งอยู่ในช่วงระยะสั้น ทำให้ขึ้นตัวอย่างที่ทำงานไม่ร้อนมากจนเกิดการเปลี่ยนสี ซึ่งการกระจายพลังงานของหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะต่าง ๆ กันออกไป



ภาพที่ 2.7 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

2.2.2 วัตถุมีสี (Colored Object) เมื่อให้แสงส่องผ่านไปทั่ววัตถุ จะสามารถเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 Specular Reflection เป็นปรากฏการณ์การสะท้อนของแสงที่พื้นผิวของวัตถุที่มีความเงามัน ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้กับวัตถุที่เป็น โลหะที่มีผิวเงามัน (Opaque Metal)

2.2.2.2 Diffuse Reflection เป็นปรากฏการณ์การสะท้อนของวัตถุที่ผิวไม่เรียบ ไม่มีความมันเงา เช่น วัตถุสิ่งทอ ซึ่งการมองเห็นวัตถุและสีของวัตถุจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีแสงส่องผ่านเข้าไปในวัตถุสิ่งทอนั้น ก็จะเกิดการกระเจิงแสง (Scattering) ซึ่งภายในวัตถุสิ่งทอจะมีอนุภาคของสีข้อมอยู่ อนุภาคของสีข้อมจะดูดกลืนแสงบางช่วงความยาวคลื่นไว้ (Absorption) และสะท้อนแสงบางช่วงความยาวคลื่นออกมาทำให้เกิดการรับรู้สีของวัตถุได้แตกต่างกันตามความยาวคลื่นที่สะท้อนออกมา

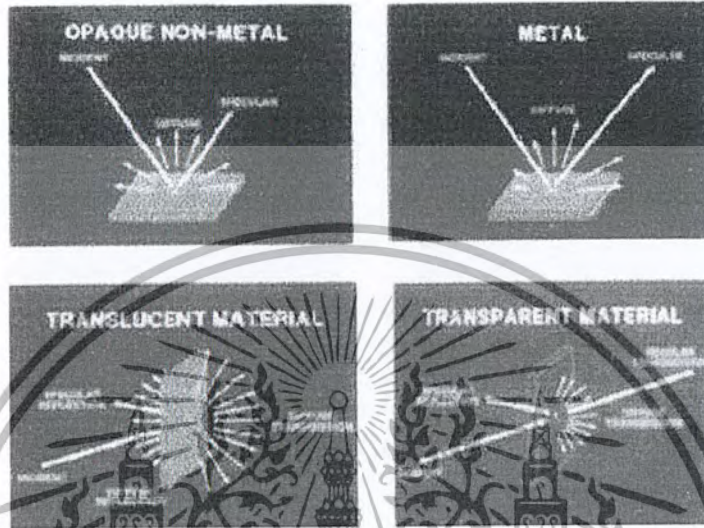


ภาพที่ 2.8 แสดงปรากฏการณ์ Scattering และการ Absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

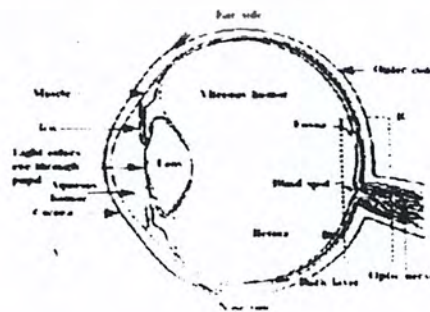
2.2.2.3 Diffuse Transmission เป็นปรากฏการณ์ที่แสงส่องผ่านวัตถุที่โปร่งแสง (Transparent Material) และเกิดการกระเจิงแสง (Scattering) ที่พื้นผิวนั้น

2.2.2.4 Regular Transmission เป็นปรากฏการณ์ที่แสงจะเกิดการสะท้อนผ่านวัตถุที่มีความโปร่งใส เช่น กระจกใส สารละลายสีย้อมผ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 แสดงปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบวัตถุชนิดต่างๆ

2.2.3 ผู้สังเกตการณ์ มีส่วนสำคัญต่อการมองเห็นหรือการรับรู้สี กล่าวคือเมื่อแสงส่องกระทบวัตถุแล้วสะท้อนเข้าตามนุษย์ในดวงตาบริเวณเรตินา จะจะมีส่วนที่ไวแสงแตกต่างกันอยู่ 2 ชนิด คือ ส่วนที่แยกความแตกต่างระหว่างความมืดกับความสว่าง ซึ่งเรียกว่า Rods cell และส่วนที่สามารถแยกสีได้ซึ่งเรียกว่า Cones cell โดยที่ Cones cell จะแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ส่วนที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยแสงจะไปกระตุ้น Cones cell ให้ส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทตา (Optical Nerves) ไปยังสมองและแปลออกมาเป็นสีที่มองเห็นนั่นเอง



ภาพที่ 2.10 แสดงภาคตัดขวางของตามนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบการวัดสี

โดยทั่วไปมนุษย์จะระบุลักษณะสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะ คือ Hue, Value, Chroma โดยที่

- HUE หมายถึง สีที่ปรากฏการณ์ให้เห็นเช่น สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นต้น
- VALUE(Lightness) ความสว่างของสี โดยดูที่การสะท้อนสีต่างๆ กันไป
- CHROMA(Saturation) หมายถึง ความสดใสด ความเข้ม(Strength) หรือความ

บริสุทธิ์ของสี

ระบบ CIE ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1913 เมื่อ Commission Internationals de l'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี โดยจะวัดสีออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

- เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาความขัดแย้งลงได้
- เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นแม้ชิ้นงานตัวอย่างจะสีซีดลงตามกาลเวลาแต่ตัวเลขที่มีอยู่ก็จะยังคงบอกได้ว่าสีเดิมเป็นอย่างไร

- เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณและทำนายสูตรการผสมสีได้ด้วย

เนื่องจากปัจจัยในการรับรู้สีของมนุษย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์หรือผู้สังเกตการณ์ ดังนั้นระบบ CIE จึงมีแนวความคิดว่าการที่จะวัดค่าองค์ประกอบสีออกมาเป็นตัวเลขได้นั้นก็คือ จะต้องสามารถวัดปัจจัยทั้ง 3 อย่างออกมาเป็นตัวเลขได้เช่นกัน

2.3.1 แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (Illuminants) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสีนั้นเราสามารถวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่น (Spectral Power Distribution : SPD) ได้โดยใช้เครื่อง Spectroradiometer

เนื่องจากการรับรู้สีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติจะมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะการรับรู้สีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติจะมีความแตกต่างกันไปตามวัน เวลา ภูมิภาค ภูมิอากาศ ดังนั้นในการตรวจสอบตัวอย่างสีในทางอุตสาหกรรม จึงต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่สามารถทำการปรับเทียบมาตรฐานได้ และมีคุณภาพของแสงที่คงที่ ระบบ CIE จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้

2.3.1.1 Illuminants A มีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่น (SPD) ใกล้เคียงกับหลอดทังสเตนหรือแหล่งกำเนิดแสงincandescence อื่นๆ ที่มี color temperature ประมาณ 2848 K

2.3.1.2 Illuminants B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminants A มาผ่านแผ่นกรองแสงมี color temperature ประมาณ 4900 K โดย Illuminants B จะใช้แทนแสงแดดตอนเที่ยง แต่ปัจจุบันไม่เป็นนิยมแล้ว

2.3.1.3 Illuminants C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminants A มาผ่านแผ่นกรองแสงมี color temperature ประมาณ 6700 K โดย Illuminants C จะใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน

2.3.1.4 Illuminants D เป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่มีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่น (SPD) ใกล้เคียงกับแสงแดดตอนกลางวันเช่นกัน แต่จะแบ่งรายละเอียดตาม color temperature จากสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน เช่น D55, D60, D65, D75 เป็นต้น โดยที่

D65 : D = Daylight

65 = color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 6500 K

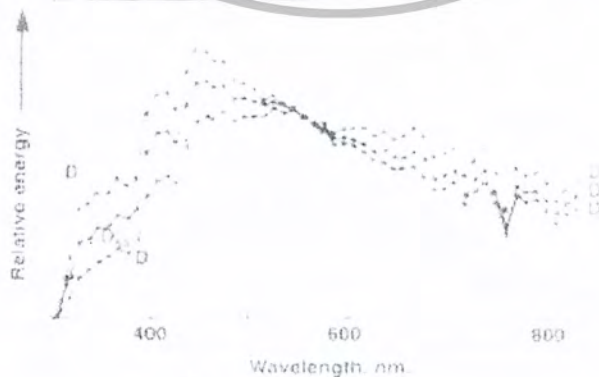
D75 : D = Daylight

75 = color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 7500 K

Illuminants D ที่มีตัวเลขน้อยต่อท้ายจะมีสีเหลืองออกมากกว่าที่มีตัวเลขมากๆ ต่อท้าย และ Illuminants D ยังมีตัวเลขมากเท่าไรก็จะมีสีฟ้าหรือสีน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม Illuminants D65 ก็เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด

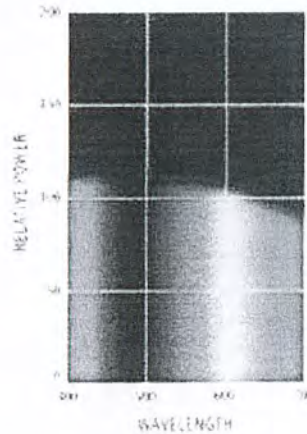


ภาพที่ 2.11 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน CIE ต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 2.12 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D55, D65, D75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



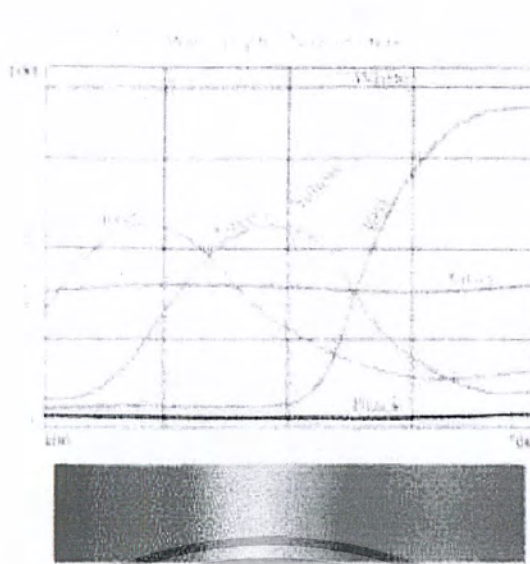
ภาพที่ 2.13 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65

2.3.2 วัตถุที่มีสี แสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Spectrometer ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงได้เป็น reflectance curve ดังภาพที่ 3.14 วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกันด้วย เช่น

วัตถุสีขาว	สะท้อนแสงที่ทุกความยาวคลื่น ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร
วัตถุสีน้ำเงิน	สะท้อนแสงที่ทุกความยาวคลื่น 430-460 นาโนเมตร
วัตถุสีเขียว	สะท้อนแสงที่ทุกความยาวคลื่น 500-530 นาโนเมตร
วัตถุสีเหลือง	สะท้อนแสงที่ทุกความยาวคลื่นของสีเขียว สีเหลือง และสีแดง
แต่จะมีการสะท้อนแสงต่ำมากที่ค่าความยาวคลื่นของสีน้ำเงิน	
วัตถุสีแดง	สะท้อนแสงที่ทุกความยาวคลื่น 620-700 นาโนเมตร
วัตถุสีดำ	มีการสะท้อนแสงต่ำมาก ที่ทุกความยาวคลื่น ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร

2.3.3 ผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน การวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ต้องสามารถหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินได้ โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ Wright และ Guild ได้ทำการทดลองโดยการฉายแสงตัวอย่างตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ลงบนจอสีขาวด้านล่าง ส่วนจอด้านบนจะส่องด้วยแสงปรุหมุมสีสีแดงที่มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 546.1 นาโนเมตร และแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 435.8 นาโนเมตร จากนั้นให้ผู้สังเกตการณ์ 17 คนมองผ่านช่องเล็กๆ และทำการเปรียบเทียบสี (Color Match) แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ส่องลงมาผสมกันในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่จอด้านบนกับแสงตัวอย่างที่จอด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 แสดง Reflectance curve ของวัตถุต่างๆ

ผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ได้ค่าที่เรียกว่า CIE Color-matching function curve 3 curve หรือเรียก 2° 1931 CIE Standard Observer ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดง 2°, 10° 1964 CIE Standard Observer

โดยที่ \bar{X} เป็นเส้นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง
 \bar{Y} เป็นเส้นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีเขียว
 \bar{Z} เป็นเส้นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 CIE Tristimulus Value จากการศึกษาหาปริมาณ การกระจายพลังงานของ แหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนของวัตถุ และการตอบสนองของตามมนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นตัวเลขได้ดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้สามารถคำนวณสี หรือระบุสีของวัตถุได้ออกมา เป็นตัวเลข โดยนำค่าทั้ง 3 ที่แต่ละความยาวคลื่นเดียวกันคูณกัน จากนั้นนำมารวมกันตลอด ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ได้เป็นตัวเลข 3 ค่า คือ X, Y, Z ดังสมการต่อไปนี้

$$X = \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{X}(\lambda)$$

$$Z = \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{Z}(\lambda)$$

โดยที่ $S(\lambda)$: Illuminant

$R(\lambda)$: Sample

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$: Eyes

ค่าที่ X, Y, Z ที่ได้เรียกว่า CIE Tristimulus Value โดยที่ X จะบอกความเป็นสีแดงของวัตถุ Y บอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ และ Z บอกความเป็นสีน้ำเงินของวัตถุ ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แสดง CIE Tristimulus Value

จากภาพที่ 2.16 กราฟ Y จะคล้ายคลึงกับกราฟแสดง Human Sensitivity ต่อสเปกตรัมอย่างมาก จึงสามารถใช้ค่า CIE Tristimulus Value Y บอกทั้งความสว่าง (Lightness) และความเป็นสีเขียวของวัตถุได้

2.3.5 CIE Chromaticity Coordinates แม้จะสามารถระบุสีของวัตถุโดยใช้ค่า CIE Tristimulus Value หรือ X, Y, Z ได้ก็ตามแต่เราก็คงจำเป็นต้องเข้าใจหรือหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับลักษณะของสีที่มองเห็น เช่น Hue, Value, Chroma ด้วย ดังนั้นการระบุสีโดยใช้ค่า X,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y, Z นั้นจึงยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากนัก และเพื่อการระบุสีโดยใช้ตัวเลขสามารถสื่อความหมายของสีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการกำหนดค่า CIE Chromaticity Coordinates จากค่า CIE Tristimulus Value ดังนี้คือ

$$X = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$Y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$Z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

โดยค่า X, Y, Z คือ CIE Chromaticity Coordinates โดยที่ $X+Y+Z = 1$ เมื่อนำค่า X และ Y มาพล็อตกราฟจะได้แผนผังที่ใช้บอกสีเรียกว่า CIE Chromaticity Diagram ซึ่งมีลักษณะคล้ายเกือกม้า ดังภาพที่ 2.17 CIE Chromaticity Diagram นี้จะบอกได้เพียงลักษณะของสีที่ปรากฏให้เห็น (Hue) และความสดของสี (Chroma) เท่านั้น แต่ถ้าต้องการบอกลักษณะของสีที่หมายถึงความสว่างของสี (Value หรือ Lightness) จะต้องทำการกำหนดค่าด้วย CIE Tristimulus Value Y ดังนั้นในการระบุสีจึงต้องสามารถระบุด้วยค่า จึงจะได้ลักษณะสีที่ครบถ้วน

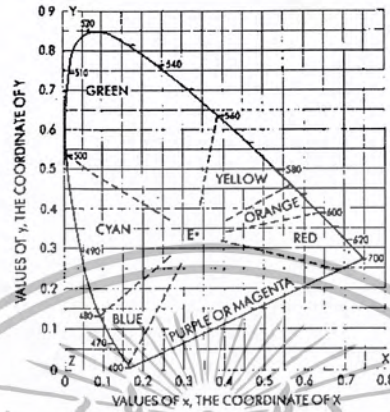


ภาพที่ 2.17 แสดง CIE Chromaticity Diagram

อย่างไรก็ตามการระบุสีด้วยค่า CIE Chromaticity Coordinates (X และ Y) จาก CIE Chromaticity Diagram ยังมีข้อบกพร่อง เนื่องจากวัตถุประสงค์อย่างหนึ่งของการวัดสีก็คือเพื่อที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอกค่าของสีที่คลาดเคลื่อนออกไปจากมาตรฐาน ซึ่งในทางทฤษฎีจะเห็นว่าความแตกต่างของสี 2 สี ที่เป็นตัวเลข (D_x และ D_y) บอกความคลาดเคลื่อนของสีที่ออกไปจากมาตรฐานได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว พบว่าสายตามนุษย์สามารถมองเห็นความแตกต่างของสี ณ จุดต่างๆบน CIE Chromaticity Diagram ได้ไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2.18 แสดง MacAdam Ellipse

จากภาพที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าที่ช่วงความยาวคลื่นหรือ Chromaticity Diagram หนึ่งๆ สายตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสีได้ไม่เท่ากัน เพราะเส้นขอบเขตที่แสดงความสามารถในการบอกความแตกต่าง (Just Noticeable Color Difference, $j.n.d$) นั้นเป็นวงรีและมีขนาดไม่เท่ากัน กล่าวคือ ในบริเวณที่เป็นสีเขียวใบไม้ (Green) จะเป็นบริเวณที่ใหญ่ที่สุด ส่วนบริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน (Blue) จะเป็นบริเวณที่เล็กที่สุด แสดงว่าค่า X, Y (Chromaticity Coordinates) ของสีเขียวจะเปลี่ยนแปลงไปมากโดยที่สายตามนุษย์ยังสามารถเห็นความแตกต่างได้ง่าย หากสายตามนุษย์สามารถบอกค่าความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอแล้ว เส้นของเขตที่แสดง $j.n.d$ ควรจะต้องเป็นวงกลมที่มีขนาดเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่เป็นที่เหมาะที่จะนำค่า Chromaticity Coordinates (X, Y, Z) มาเป็นหลักในการประเมินคุณภาพความแตกต่างของสี

บทที่ 3

ฟัซซีเซต

3.1 กล่าวนำ

ฟัซซีเซตมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีเซต ที่จะช่วยให้สามารถอธิบายการปฏิบัติการและกฎเกณฑ์ การควบคุมของระบบต่าง ๆ เป็นคำพูดได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งฟัซซีเซตเป็นเซตที่แสดงถึงความ สัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่ม โดยความสัมพันธ์จะถูกแสดงในลักษณะของระดับความเป็น สมาชิกที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 แทนที่จะแสดงว่าเป็นสมาชิกของเซตนั้นหรือไม่ ถ้าเรา กำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ และฟัซซีเซต A มีสมาชิกของเซตประกอบด้วย $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ โดยให้ $X_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ เป็นค่าฟัซซีเซต เราสามารถแสดงฟัซซีเซต A ในรูปแบบของ ความสัมพันธ์ในฟัซซีเซตโดยใช้ $\mu_A(x_i)$ ซึ่งความสัมพันธ์นี้เรียกว่า ค่าความเป็นสมาชิกหรือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และสามารถเขียนเป็นสมการซึ่งมีความสัมพันธ์ได้ดังนี้

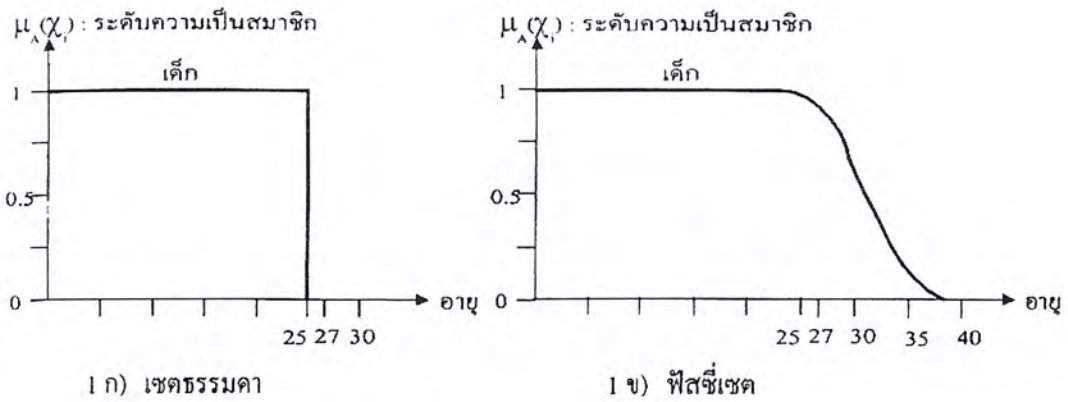
$$\mu_A(x_i) : U \rightarrow (0,1)$$

โดยที่ $\mu_A(x_i)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตใด ก็จะต้องคล้องกับค่าจำกัดความของเซตนั้น และค่า จำกัดความเหล่านี้ ก็คือตัวแปรต่างๆ ของฟัซซีเซตที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของเอกภพสัมพัทธ์หรือระบบ ใดๆ ที่เราสนใจ

ฟัซซีเซตใดๆ ของระบบที่เราสนใจอาจจะมีตัวแปรฟัซซีหรือฟัซซีเทอม เข้ามาประกอบด้วย ยกตัวอย่างถ้าเราให้ “ความสูง” เป็นฟัซซีเทอมแล้ว จะประกอบด้วยเทอมของเซตหรือตัวแปรของ เซตคือ สูง, ปานกลาง, เตี้ย และยังมีส่วนขยาย เพื่อปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ในเทอมให้มีความยืดหยุ่น มากขึ้น ถ้าพิจารณาจากเทอมของความสูงนี้ เราจะได้ สูง \Rightarrow สูงมาก, เตี้ย \Rightarrow ค่อนข้างเตี้ย คำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” จะถือเป็นส่วนขยายของฟัซซีเทอม

หรือถ้าเราพูดถึง “อายุ” เมื่อเรากำหนดให้อายุเป็นฟัซซีเทอม จะประกอบด้วยเทอมของเซต คือ เด็ก (Young), ผู้ใหญ่ (Middle-age), และผู้สูงอายุ (Old) สำหรับส่วนขยาย เพื่อปรับค่าตัวแปรให้ มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเราจะได้ เด็ก \Rightarrow เด็กมาก, เด็ก \Rightarrow ค่อนข้างเด็ก, ผู้ใหญ่ \Rightarrow ผู้ใหญ่มาก, ผู้สูงอายุ \Rightarrow ค่อนข้างสูงอายุ ทั้งหมดเหล่านี้ถือว่าเป็นส่วนขยายของฟัซซีเทอม การแปลงข้อมูลเพื่อ กำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตธรรมดา จะต้องมีการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแปลง หรือค่า เทอร์โซลด์ เพื่อจะนำมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าสมาชิกใดในเซตเอกภพสัมพัทธ์เป็นสมาชิก ของเซตที่กำลังพิจารณาอยู่



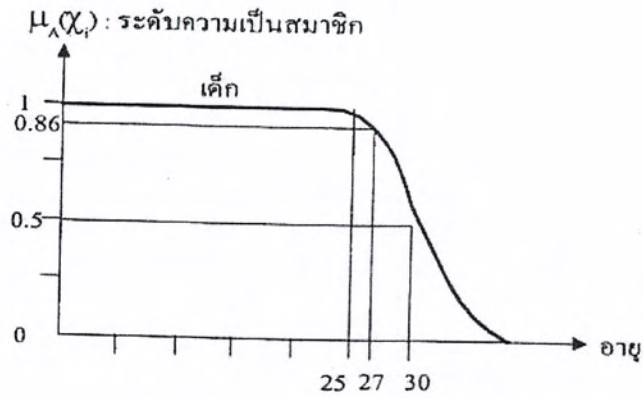
ภาพที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกของเด็กในเซตธรรมดา กับ ฟัซซี่เซต

จากภาพที่ 3.1 เปรียบเทียบการแทนข้อมูลของเซตธรรมดา กับ ฟัซซี่เซต พิจารณาจากภาพที่ 1 ก) เป็นการแทนข้อมูลของเซตธรรมดา ถ้าเรากำหนดให้เด็กคือ ผู้ที่มีอายุอยู่ระหว่าง 0-25 ปี และกำหนดให้เซต A เป็นเซตของเด็ก (เด็กในกรณีของฟัซซี่เซตจะเป็นเทอมเซต) ดังนั้นเซต A ในกรณีของเซตธรรมดามีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแปลงที่อายุ 25 ปี ตามภาพ 3.1 ก) จะถือว่าผู้ที่มีอายุระหว่าง 0-25 ปี เท่านั้นที่ถือว่าเป็นเด็ก แต่ถ้าอายุ 26 ปีขึ้นไปจะถือเป็นผู้ใหญ่เต็มตัวซึ่งในความเป็นจริงแล้วผู้ที่มีอายุ 26 ปี แม้จะเป็นผู้ใหญ่แล้วแต่ก็ยังมีความเป็นเด็กอยู่มากเราสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 25; \\ 0, & \text{other.} \end{cases}$$

โดยที่ x_i คือ อายุของเด็กคนที่ I

แต่ถ้าพิจารณาในกรณีของฟัซซี่เซตจะพบว่ามีช่วงความจริงเกิดขึ้น ภาพที่ 3.1 ข) ผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 25 ปี (0-25 ปี) จะตอบได้ทันทีว่าเขาเป็นเด็ก (ระดับความเป็นสมาชิกของเซต A มีค่า = 1 เสมอ) สำหรับผู้ที่มีอายุ 38 ปีขึ้นไปจะบอกได้ชัดเจนว่า ไม่ใช่เด็กแน่นอน (ระดับความเป็นสมาชิกของเซต A มีค่า = 0) แต่ผู้ที่มีอายุระหว่าง 26 ปี ถึง 37 ปี ถือได้ว่ายังมีความเป็นเด็กอยู่แต่จะมากขึ้นหรือนั้นก็ขึ้นอยู่กับอายุเป็นเกณฑ์ (ระดับความเป็นสมาชิกของเซต A มีค่า ลดหลั่นกันไปตามลำดับ)



ภาพที่ 3.2 แสดงระดับความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีของฟัซซี่เซต

เราสามารถเขียนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu_{\text{young}}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 25; \\ \left[1 + \left(\frac{x-25}{5} \right)^2 \right]^{-1}, & 25 \leq x \leq 200. \end{cases}$$

ลองพิจารณาตามภาพที่ 3.2 ผู้ที่มีอายุ 30 ปี จะบอกได้ว่าแม้เขาเป็นผู้ใหญ่แล้วก็ตามแต่ก็ยังมีความเป็นเด็กอยู่มาก (ระดับความเป็นสมาชิกของเซต A มีค่า = 0.5 หรือเท่ากับ 50%ทีเดียว) เราสามารถใช้ฟัซซี่เซตแสดงค่าระดับความเป็นสมาชิก(Degree of Membership) ของระดับอายุวัยรุ่น (Young) ได้ดังตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงระดับความเป็นสมาชิกของช่วงอายุต่างๆ

อายุ	ระดับความเป็นสมาชิก
20	1.00
25	1.00
26	0.96
28	0.74
30	0.50
35	0.20
40	0.10
50	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราพิจารณาเปรียบเทียบสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตธรรมดาและฟัซซีเซต จะเห็นว่า เด็กที่อยู่ในเซตธรรมดาจะต้องเป็นผู้ที่มีอายุระหว่าง 0-25 ปีเท่านั้น จะมากกว่านี้ไม่ได้เลยซึ่งขาดความยืดหยุ่นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นฟัซซีเซตจะมีความยืดหยุ่นที่น่าพอใจ ซึ่งเราจะศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับฟัซซีเซตพอสังเขป ดังนี้

3.2 ฟัซซีเซต

เราสามารถนิยามฟัซซีเซต A ซึ่งจะอธิบายโดย \tilde{A} กำหนดให้ “ \sim ” แทนสัญลักษณ์ของฟัซซีฟิเคชัน(Fuzzification) ได้ดังนี้

นิยาม ให้ E เป็นเซตและให้ x เป็นสมาชิกของ E ฟัซซีสับเซต \tilde{A} ของ E คือเซตของคู่ลำดับ $\{(x, \mu_A(x))\}$ สำหรับ x ทุกตัวของ E เมื่อ $\mu_A(x_i)$ คือค่าความเป็นสมาชิกที่แสดงระดับการเป็นสมาชิกของ x ในเซต \tilde{A} ค่าของ $\mu_A(x_i)$ จะเป็นจำนวนที่อยู่ในช่วง $[0,1]$

ค่า $\mu_A(x_i)=0$ จะมีความหมายเหมือนกับ $f_A(x)=0$ นั่นคือ x ไม่เป็นสมาชิกของ \tilde{A}

ค่า $\mu_A(x_i)=1$ แสดงว่า x เป็นสมาชิกของ A อย่างสมบูรณ์แบบ แต่ถ้า $0 < \mu_A(x) < 1$ แสดงว่า x เป็นสมาชิกเพียงบางส่วน of A เท่านั้น

ให้ E เป็นเซตอ้างอิงโดยมี X เป็นสมาชิก เราสามารถเขียนฟังก์ชันความสัมพันธ์ หรือค่าความเป็นสมาชิกของ X ได้ดังนี้

$$\forall x \in E : \mu_A(x) \in \{0,1\} \quad (3.3)$$

พิจารณาจาก $\{0,1\}$ คือช่วงค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 จะได้ว่า สับเซต \tilde{A} ใน (3.3) คือ ฟัซซีเซต (ฟัซซีสับเซต) หมายถึงค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต \tilde{A} ไม่ได้มีค่าเพียง “0” กับ “1” เท่านั้นที่เหมือนไบนารีเซต แต่ฟัซซีเซต \tilde{A} ยังสามารถมีค่าได้มากมายระหว่าง $0, \dots, 0.1, \dots, 0.2, \dots, 0.9, \dots, 1$

ตัวอย่าง

ให้ E เป็นเซตอ้างอิง

$$E = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$$

การ อินเตอร์เซกชัน (Minimum), ยูเนียน(Maximum) และ คอมพลิเมนต์เดชั่น ซึ่งใช้ในไบนารีเซต เราสามารถนำมาใช้ใน ฟัซซีเซต ได้ ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบของตารางได้ดังนี้

ให้ สับเซต \tilde{A} และสับเซต \tilde{B} ประกอบด้วยสมาชิกดังนี้

	a	b	c	d	e	f	g	h
$\tilde{A} =$	๐7	๐4	0	๐6	๐3	๐5	1	๐1

$$\tilde{B} = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad h \\ \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 03 & 02 & 1 & 05 & 0 & 06 & 01 & 09 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

การ อินเตอร์เซกชัน ของ \tilde{A} และ \tilde{B} จะได้ผลดังนี้คือ

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad h \\ \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 03 & 02 & 0 & 05 & 0 & 05 & 01 & 01 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

การ ยูเนียน ของ \tilde{A} และ \tilde{B} จะได้ผลดังนี้คือ

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad h \\ \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 07 & 04 & 1 & 05 & 03 & 06 & 1 & 09 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

คอมพลีเมนต์เดซัน ของ \tilde{A} คือ

$$\tilde{A}' = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad h \\ \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 03 & 06 & 1 & 04 & 07 & 05 & 0 & 09 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

คอมพลีเมนต์เดซัน ของ \tilde{B} คือ

$$\tilde{B}' = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad h \\ \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 07 & 08 & 0 & 05 & 1 & 04 & 09 & 01 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

พีชคณิตของฟัซซี่เซต จะเหมือนกับเซตปกติ ยกเว้นบางอย่างได้แก่

$$\tilde{A} \cap \tilde{A}' \text{ และ}$$

$$\tilde{A} \cup \tilde{A}'$$

ซึ่งในกรณีของ ฟัซซี่เซต แล้ว

$$\tilde{A} \cap \tilde{A}' \text{ ไม่จำเป็นต้องเท่ากับ } \Phi \text{ และ}$$

$$\tilde{A} \cup \tilde{A}' \text{ ก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากับ } E$$

พิจารณาจากตัวอย่าง

	a	b	c	d	e	f	g	h
$\tilde{A} \cap \tilde{A}' =$	08	04	0	04	08	05	0	01

และ

	a	b	c	d	e	f	g	h
$\tilde{A} \cup \tilde{A}' =$	07	06	1	06	07	05	1	09

3.3 ตัวดำเนินการฟัซซีเซต

ตัวดำเนินการของฟัซซีเซตส่วนใหญ่จะคล้ายกับตัวดำเนินการของเซตธรรมดา เช่น ยูเนียน อินเตอร์เซกชัน และ คอมพลิเมนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการคาดคะเนตามหลักเหตุผลของฟัซซีเซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจ

ถ้ากำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ \tilde{A} , \tilde{B} เป็นเซตใด ๆ ที่อยู่ใน U แล้วตัวดำเนินการขั้นพื้นฐานต่างๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

สับเซต

\tilde{A} เป็นเซตย่อยของ \tilde{B} ($\tilde{A} \subseteq \tilde{B}$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i); \forall x_i \in U$$

คอมพลิเมนต์

\tilde{A} เป็นคอมพลิเมนต์ของ \tilde{B} ($\tilde{A} = \tilde{B}'$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) = \mu_B'(x_i) = 1 - \mu_B(x_i); \forall x_i \in U$$

อินเตอร์เซกชัน ของ \tilde{A} และ \tilde{B} ($\tilde{A} \cap \tilde{B}$) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A \cap B}(x_i) = \min(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)); \forall x_i \in U$$

ยูเนียน ของ \tilde{A} กับ \tilde{B} ($\tilde{A} \cup \tilde{B}$) กำหนดได้โดย

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x_i) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(x_i)); \forall x_i \in U$$

Distributivity ของ \tilde{A} , \tilde{B} และ \tilde{C} กำหนดได้โดย

$$: \tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C})$$

$$: \tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C})$$

Associativity ของ \tilde{A} , \tilde{B} และ \tilde{C} กำหนดได้โดย

$$: (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cup \tilde{C} = \tilde{A} \cup (\tilde{B} \cup \tilde{C})$$

$$: (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C} = \tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C})$$

Commutativity ของ \tilde{A} กับ \tilde{B} กำหนดได้โดย

$$: \tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A}$$

$$: \tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A}$$

Idempotency ของ \tilde{A} กำหนดได้โดย

$$: \tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A}$$

$$: \tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A}$$

DeMorgan's Laws: ของ \tilde{A} กับ \tilde{B} กำหนดได้โดย

$$: U_{(A \cap B)'}(x) = U_{A' \cup B'}(x)$$

$$: U_{(A \cup B)'}(x) = U_{A' \cap B'}(x)$$

ขอให้สังเกตว่า $\tilde{A} \cap \tilde{A}' \neq \emptyset$ และ $\tilde{A} \cup \tilde{A}' \neq U$ ทั้งนี้เพราะว่าในกรณีทั่วไปสำหรับ $\mu_A(x) = a$ ที่ $0 < a < 1$ เราจะได้ว่า

$$U_{A \cup A'}(x) = \max[a, 1 - a] = 1$$

$$U_{A \cap A'}(x) = \min[a, 1 - a] = 0$$

A ยกกำลังด้วยค่า $\alpha (A^\alpha)$ กำหนดได้โดย

$$\mu_{A^\alpha}(x_i) = (\mu_A(x_i))^\alpha ; \forall x_i \in U$$

Concentration ของเซต \tilde{A} กำหนดได้โดย

$$\text{CON}(A) \Rightarrow \mu_{\text{CON}(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^2 ; \forall x_i \in U$$

Dilation ของเซต \tilde{A} กำหนดได้โดย

$$\text{DIL}(A) \Rightarrow \mu_{\text{DIL}(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^{0.5} ; \forall x_i \in U$$

แต่ความสัมพันธ์ต่อไปนี้เป็นจริงเสมอสำหรับฟัซซี่:

- $\tilde{A} \cap \emptyset = \emptyset$
- $\tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A}$
- $\tilde{A} \cap U = U$
- $\tilde{A} \cup U = U$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือ ค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต ในกรณีของฟังก์ชันไม่ใช่แค่การ Normalization ข้อมูลเท่านั้น แต่ฟังก์ชันนี้จะถูกกำหนดขึ้นตามคำจำกัดความของเทอมเซตที่มีความยืดหยุ่นแต่ถูกต้องตรงความเป็นจริง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ ที่ใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซตนั้นมีทั้งแบบที่ประมาณค่าเป็นเชิงเส้น, รูปสามเหลี่ยม, รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และแบบที่ประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันต่อเนื่องเช่น S, S^{-1} , ระวังคำว่า เป็นต้น

3.4.1 สมการเชิงเส้น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้น ใช้เพื่อการแปลงค่าความสัมพันธ์ของโดเมน ไปยังเรนจ์ ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

3.4.2 รูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม ใช้ในระบบควบคุมที่ใช้ฟัซซี่เซต เทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้ จะต้องมีความเหมาะสมที่สุดอยู่เพียงค่าเดียว ที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าอื่นๆ จะมีความน่าจะเป็นสมาชิกลดลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างจากค่านี้

3.4.3 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องมีช่วงที่เหมาะสมมากที่สุดอยู่กลุ่มหนึ่ง ที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง นอกจากนี้จะมีความเป็นสมาชิกน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างข้อมูลกลุ่มนี้

3.4.4 เส้นโค้งรูปตัว S ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมน ไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือ พวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นรูปตัว S หรือ S^{-1}

3.4.5 รูประฆังคว่ำ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยรูประฆังคว่ำ จะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายกับสมการรูปสามเหลี่ยม แต่ข้อมูลของโดเมนที่แปลไปยังเรนจ์จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เชิงเส้น สมการรูประฆังคว่ำมีด้วยกันหลายสมการแต่ที่ใช้มากที่สุดได้แก่ฟังก์ชัน Gaussian และฟังก์ชัน Beta

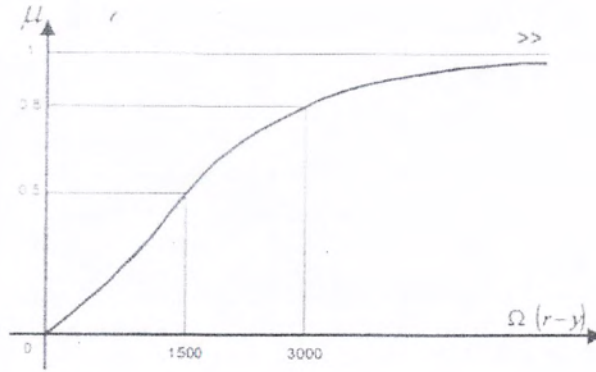
3.5 ตัวอย่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

Dr. Deyi Li และ Dongbo Liu [9] ได้ทำการทดลองฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในรูปแบบต่างๆ และได้สรุปผลออกมาเป็นรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก ดังนี้

3.5.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ: \gg (much greater than)

$$\mu_{\gg}(x, y) = \begin{cases} 0, & x \leq y; \\ [1 + c(x - y)^{-2}]^{-1}, & x > y. \end{cases} (c > 0)$$

เช่น การนำไปใช้กับรายได้ จะกำหนดให้ $c = 2.25 \times 10^6$

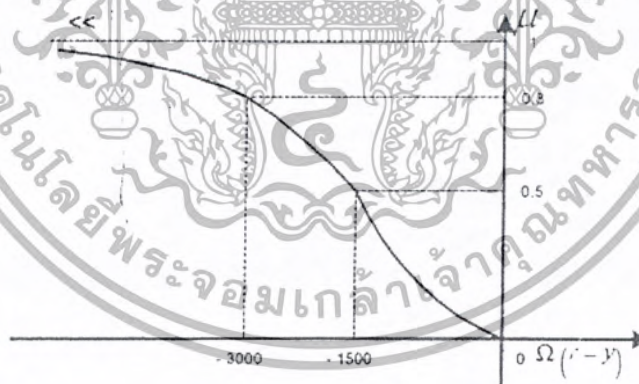


ภาพที่ 3.3 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ >> (much greater than)

3.5.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ: << (much less than)

$$\mu_{\ll}(x, y) = \begin{cases} [1 + c(y-x)^{-2}]^{-1}, & x < y; (c > 0) \\ 0, & x \geq y. \end{cases}$$

เช่น การนำไปใช้กับรายได้ จะกำหนดให้ $c = 2.25 \times 10^6$



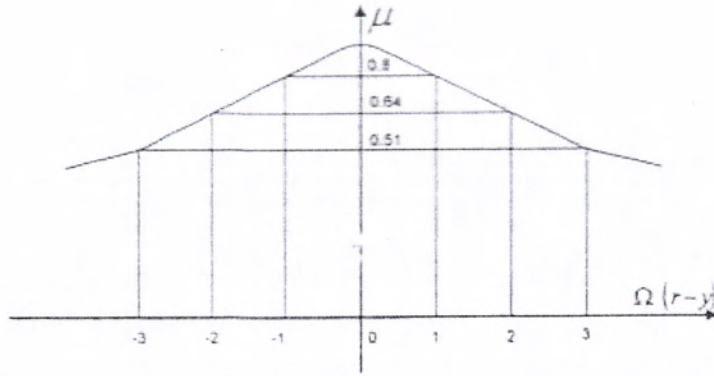
ภาพที่ 3.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ: << (much less than)

3.5.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ: ~ (approximately equal to)

$$\mu_{\sim} = e^{-c|x-y|} \quad (c > 0)$$

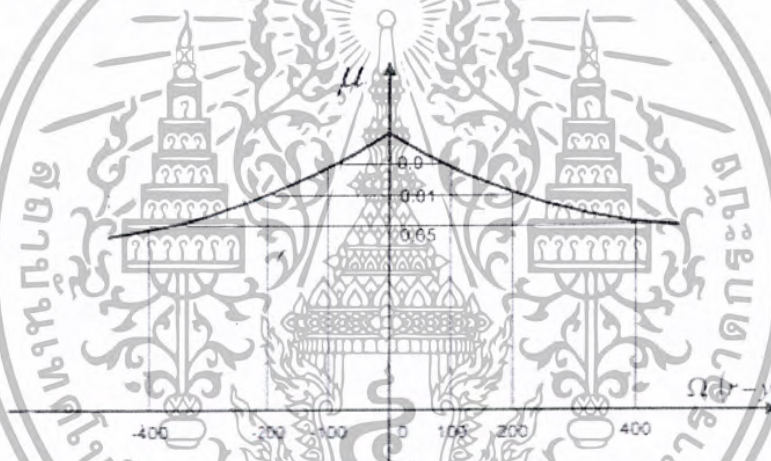
เช่น การนำไปใช้กับ อายุ จะกำหนดให้ $c = 2.23 \times 10^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 ก. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ : $\sim =$ (approximately equal to)

สำหรับการนำไปใช้กับรายได้ จะกำหนดให้ $c = 1.053 \times 10^{-3}$



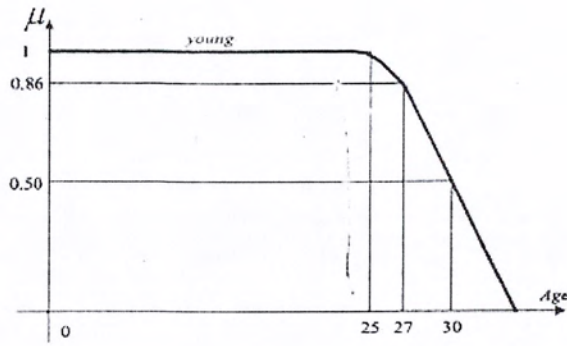
ภาพที่ 3.5 ข. แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการเปรียบเทียบ : $\sim =$ (approximately equal to)

3.5.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ: young, middle-aged และ old

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : young

$$\mu_{\text{young}}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 25; \\ \left[1 + \left(\frac{x-25}{5} \right)^2 \right]^{-1}, & 25 < x \leq 200. \end{cases}$$

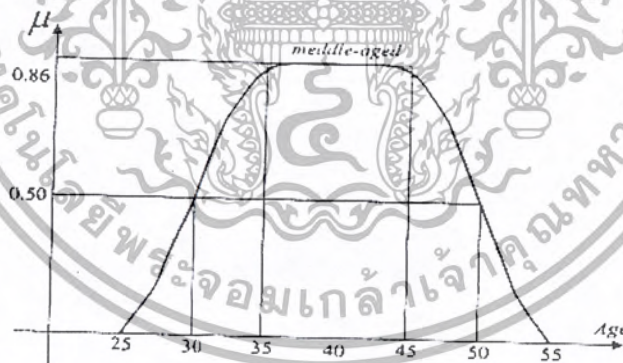
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : young

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : middle-aged

$$\mu_{\text{middle-aged}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 25; \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{10} (x-50), & 25 < x \leq 35; \\ 1, & 35 < x \leq 45; \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{10} (x-50), & 45 < x \leq 55; \\ 0, & 55 < x \leq 200. \end{cases}$$

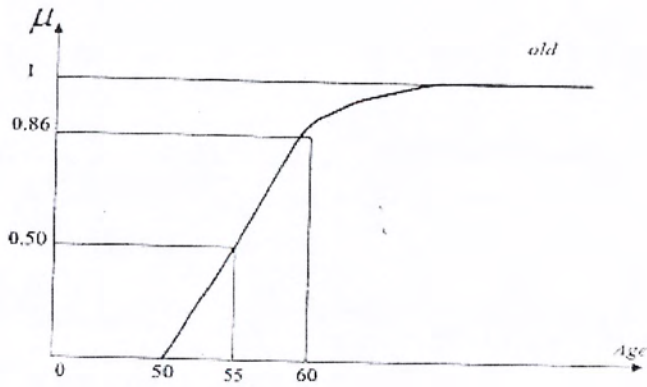


ภาพที่ 3.7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : middle-aged

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : old

$$\mu_{\text{old}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 50; \\ \left[1 + \left(\frac{x-50}{5} \right)^2 \right]^{-1}, & 50 < x \leq 200. \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

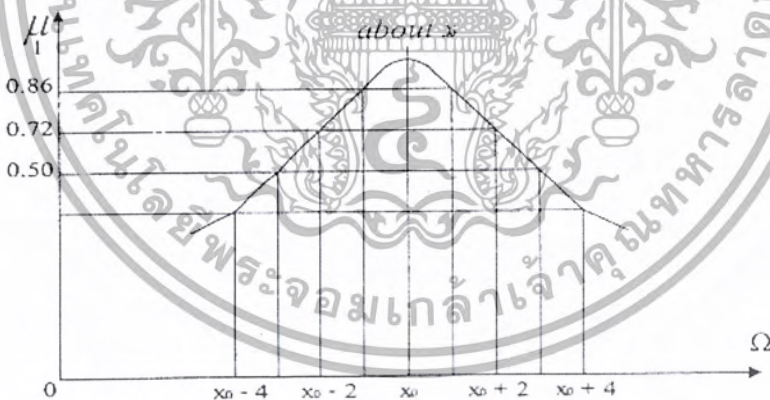


ภาพที่ 3.8 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอายุ : old

3.5.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการกะประมาณ : about

$$\mu_{\text{about } x_0}(x) = e^{-c(x-x_0)^2}, \quad (c > 0)$$

เช่น การนำไปใช้กับ อายุจะกำหนดให้ $c = 1.62 \times 10^{-1}$



ภาพที่ 3.9 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการกะประมาณ : about

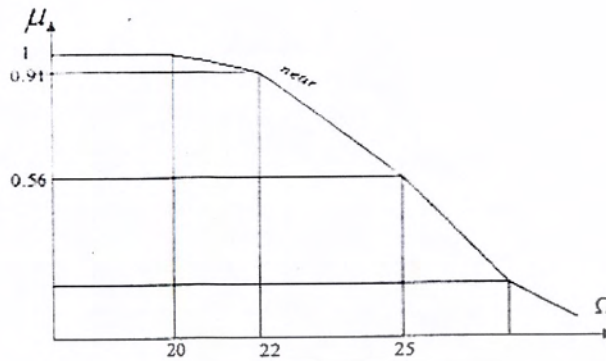
3.5.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง : near and far

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง : near

$$\mu_{\text{near}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ e^{-k(x-a)^2}, & x > a. \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการนำไปใช้กับ ระยะทาง จะกำหนดให้ $\alpha = 20$ (miles) , $k = 2.3 \times 10^{-2}$

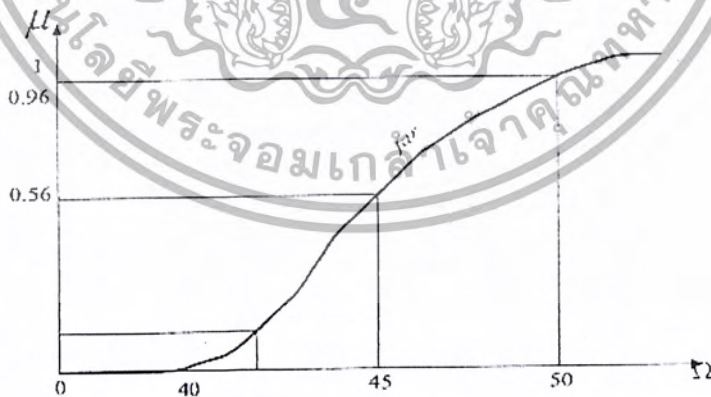


ภาพที่ 3.10 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง : near

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง : far

$$\mu_{\text{far}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \alpha; (k > 0) \\ 1 - e^{-k(x-\alpha)}, & x > \alpha. \end{cases}$$

สำหรับการนำไปใช้กับ ระยะทาง จะกำหนดให้ $\alpha = 40$ (miles) , $k = 3.28 \times 10^{-2}$



ภาพที่ 3.11 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทาง : far

3.5.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าจะเป็น : possible, very possible, fairly possible, almost definite, almost impossible and finite

$$\mu_{\text{possible}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.5; \\ 2\left(\frac{x-0.5}{0.2}\right)^2, & 0.5 < x \leq 0.6; \\ 1 - 2\left(\frac{x-0.7}{0.2}\right)^2, & 0.6 < x \leq 0.8; \\ 2\left(\frac{0.9-x}{0.2}\right)^2, & 0.8 < x \leq 0.9; \\ 0, & 0.9 < x \leq 1. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{very possible}}(x) = \mu_{\text{possible}}^2(x-0.1) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.6; \\ 4\left(\frac{x-0.6}{0.2}\right)^4, & 0.6 < x \leq 0.7; \\ \left[1 - 2\left(\frac{x-0.8}{0.2}\right)^2\right]^2, & 0.7 < x \leq 0.9; \\ 4\left(\frac{1-x}{0.2}\right)^4, & 0.9 < x \leq 1. \end{cases}$$

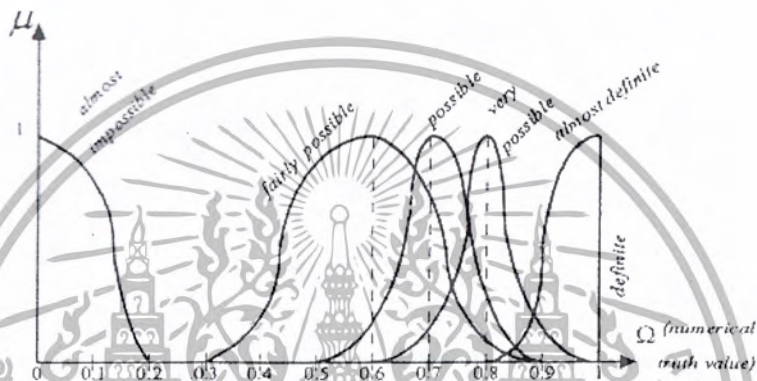
$$\mu_{\text{fairly possible}}(x) = \mu_{\text{possible}}^{\frac{1}{2}}(x+0.1) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.4; \\ \sqrt{2}\left(\frac{x-0.4}{0.2}\right), & 0.4 < x \leq 0.5; \\ \sqrt{1 - 2\left(\frac{x-0.6}{0.2}\right)^2}, & 0.5 < x \leq 0.7; \\ \sqrt{2}\left(\frac{0.8-x}{0.2}\right), & 0.7 < x \leq 0.8; \\ 0, & 0.8 < x \leq 1. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{almost definite}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.8 \\ 2\left(\frac{x-0.8}{0.2}\right)^2, & 0.8 < x \leq 0.9; \\ 1 - 2\left(\frac{x-1}{0.2}\right)^2, & 0.9 < x \leq 1. \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{\text{almost impossible}}(x) = \begin{cases} 1 - 2\left(\frac{x}{0.2}\right), & 0 \leq x \leq 0.1; \\ 2\left(\frac{0.2 - x}{0.2}\right)^2, & 0.1 < x \leq 0.2; \\ 0, & 0.2 < x \leq 1. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{definite}}(x) = \begin{cases} 1, & x = 1; \\ 0, & x \neq 1. \end{cases}$$



ภาพที่ 3.12 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ : possible, very possible, fairly possible, almost definite, almost impossible and finite

3.5.8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถ : excellent, good, moderate and bad

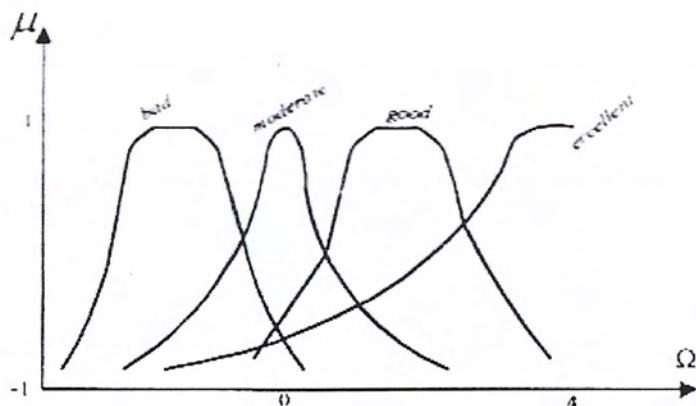
$$\mu_{\text{excellent}}(x) = 1 - e^{-\left(\frac{0.5}{|1-x|}\right)^{2.5}}$$

$$\mu_{\text{good}}(x) = 1 - e^{-\left(\frac{2.5}{|0.4-x|}\right)^{2.5}}$$

$$\mu_{\text{moderate}}(x) = 1 - e^{-5|x|}$$

$$\mu_{\text{bad}}(x) = 1 - e^{-\left(\frac{2.5}{|-0.4-x|}\right)^{2.5}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

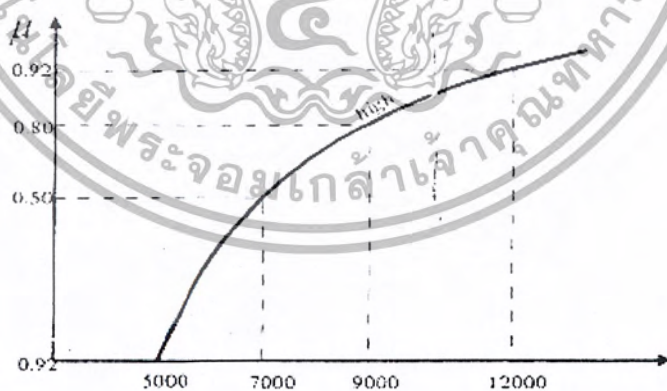


ภาพที่ 3.13 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถ : excellent, good, moderate and bad

3.5.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสูง : high

$$\mu_{\text{high}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \alpha; \\ \left[1 + \left(\frac{x - \alpha}{c} \right)^{-2} \right]^{-1}, & x > \alpha. \end{cases} \quad (c > 0)$$

เช่น การนำไปใช้กับ รายได้ จะกำหนดให้ $\alpha = 5000$, $c = 2 \times 10^3$



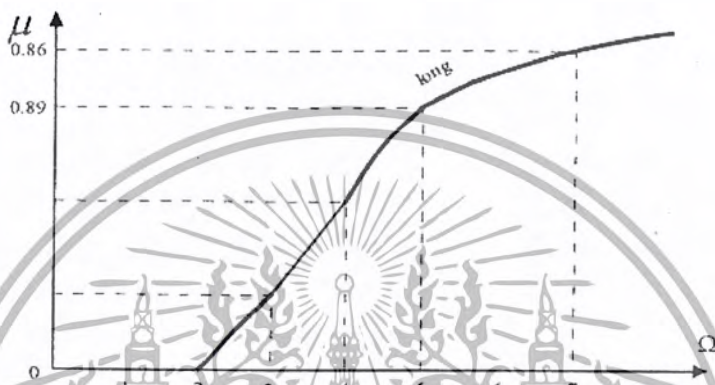
ภาพที่ 3.14 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสูง : high

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือระยะเวลา : long

$$\mu_{\text{long}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 2 \\ \left[1 + \left(\frac{x-2}{c} \right)^{-2} \right]^{-1}, & x > 2 \end{cases}$$

เช่น การนำไปใช้กับ ประสบการณ์ จะกำหนดให้ $C = 2$



ภาพที่ 3.15 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือระยะเวลา : long

3.6 ตรรกแบบฟัซซี

ใน Classical Logic (Two-valued Logic) ตามปกติแล้วจะมีผลเฉพาะค่าจริง เท็จ เท่านั้น ถ้าจะนำไปใช้งานในการบอกเหตุผลของเหตุการณ์ที่มีไม่ชัดเจน อาจจะมีค่าเป็น จริง หรือ เท็จ พอกัน จะก่อให้เกิดความลำบากมาก เป็นปัญหาสำคัญสำหรับ Two-valued Logic

แต่เราสามารถลดความรุนแรงของปัญหาได้ (การแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายที่ชัดเจน) โดยการเพิ่มค่า Truth Value ตัวที่สามเข้าไปทำให้สามารถที่จะขยาย Two-valued Logic ให้เป็น Three-valued Logic ได้โดยจะมีค่า Truth Value คือ จริง, เท็จและค่า Indeterminate ที่เพิ่มเข้ามา ซึ่งใช้แทนค่าด้วยค่า 1, 0, 0.5 ตามลำดับ

ใน Classical Logic มี Logic Operation ที่มีความสำคัญคือ

\bar{a} (Negation)

\vee (Disjunction)

\wedge (Conjunction)

\Rightarrow (Implication)

\Leftrightarrow (Bicondition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดำเนินการที่ใช้ใน Three-valued Logic ยังใช้เหมือนใน Classical Logic เช่น \bar{a} (Negation) หมายถึง $1 - a$ ก็คือ $1 = 0, 0 = \bar{1} = .5$ การ Operation แบบอื่นๆ จะแสดงให้เห็นจากตารางใน Three-valued Logic ซึ่งได้มีการคิดค้นทฤษฎีขึ้นมากมายหลายทฤษฎี แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 5 แบบ แสดงให้เห็นจากตารางดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงตาราง Operation of Three-valued Logic

a	b	Lukasiewicz	Bochvar	Kleene	Heyting	Reichenbach
		$\vee \wedge \Rightarrow \Leftrightarrow$	$\vee \wedge \Rightarrow \Leftrightarrow$	$\vee \wedge \Rightarrow \Leftrightarrow$	$\vee \wedge \Rightarrow \Leftrightarrow$	$\vee \wedge \Rightarrow \Leftrightarrow$
0	0	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1
0	.5	0 .5 1 .5	.5 .5 .5 .5	0 .5 1 .5	0 .5 1 .5	0 .5 1 .5
0	1	0 1 1 0	0 1 1 0	0 1 1 0	0 1 1 0	0 1 1 0
.5	0	0 .5 .5 .5	.5 .5 .5 .5	0 .5 .5 .5	0 .5 0 0	0 .5 .5 .5
.5	.5	.5 .5 1 1	.5 .5 .5 .5	.5 .5 .5 .5	.5 .5 1 1	.5 .5 1 1
.5	1	.5 1 1 .5	.5 .5 .5 .5	.5 1 1 .5	.5 1 1 .5	.5 1 1 .5
1	0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0
1	.5	.5 1 .5 .5	.5 .5 .5 .5	.5 1 .5 .5	.5 1 .5 .5	.5 1 .5 .5
1	1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1

เมื่อ Three-valued Logic ได้รับการยอมรับมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุก่อให้เกิด Multi-valued Logic ขึ้นมา ซึ่งได้ถูกสร้างขึ้นในปี 1930 โดยมีค่า Truth Value อยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยให้ T_n คือเซตของ Truth Value ของ Multi-valued Logic

$$T_n = \{0 = 0/(n-1), 1/(n-1), \dots, (n-2)/(n-1), (n-1)/(n-1) = 1\}$$

Multi-valued Logic ถูกสร้างขึ้นโดยพัฒนามาจาก Three-valued Logic ของ Lukasiewicz ซึ่งมีค่า Operation ต่างๆ ดังนี้

$$\bar{a} = 1 - a,$$

$$a \vee b = \max(a, b),$$

$$a \wedge b = \min(a, b),$$

$$a \Rightarrow b = \min(1, 1 + b - a),$$

$$a \Leftrightarrow b = 1 - |a - b|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi - valued Logic นั้นจัดได้ว่าเป็นสิ่งที่คู่กับทฤษฎี ฟัชซีเซตเสมอ ซึ่งฟัชซีเซตเป็นฐานตรรกแบบฟัชซี ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า ตรรกแบบฟัชซี เป็นส่วนที่ขยายมาจาก Multi - valued Logic นั้นเอง

ในการประยุกต์ใช้งาน ตรรกแบบฟัชซี นั้น จุดแรกที่เราเริ่มคำนึงถึงก็คือการนำมาใช้งานในเรื่องของภาษารธรรมชาติซึ่งจะเป็นในเรื่องการประมาณค่าแบบมีเหตุผล ในเทอมของภาษา

3.6.1 การคิดหาเหตุผลโดยใช้ตรรกแบบฟัชซี

ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต จะเป็นตัวเชื่อมโดยตรงกับตรรกแบบฟัชซี “ระดับการเป็นสมาชิกของ x ที่มีต่อ \tilde{A} เมื่อ \tilde{A} นิยามให้ฟัชซีเซต” เมื่อ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ แสดงว่าประโยค A ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ และเมื่อ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ แสดงว่าประโยค A เป็นเท็จร้อยเปอร์เซ็นต์ค่าที่อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 จะแทนที่ระดับของค่าความจริงของประโยค A

ที่ผ่านมาเราแทนค่าความจริงของประโยคด้วยตารางค่าความจริง (truth tables) แต่ในกรณีของตรรกแบบฟัชซีเราไม่สามารถใช้ตารางค่าแทนความจริงแทนระดับของความจริงได้ เพราะค่าดังกล่าวจะมีอยู่จำนวนนับไม่ถ้วน แต่ถ้าเราจำกัดจำนวนของค่าความจริงให้เป็นเท็จ (false) ไม่เท็จมาก(not very false), ไม่จริง(not true), จริง(true), จริงอย่างยิ่ง(very true), เราสามารถแทนด้วยตารางได้เช่นกัน และเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เราจำเป็นต้องมีกฎการอ้างอิง (inference rule) ในลักษณะที่เหมือนกับ fuzzy modus ponens

ตัวอย่างเช่น ให้ $\tilde{A}, \tilde{A}_1, \tilde{B}$ และ \tilde{B}_1 เป็นข้อความที่มีค่าที่แสดงว่าเป็นฟัชซีอยู่ด้วยรูปแบบหนึ่งของ fuzzy modus ponens อาจเขียนได้ดังนี้ :

premise : x is \tilde{A}_1

implication : If x is \tilde{A} then y is \tilde{B}

Conclusion : y is \tilde{B}_1

ตัวอย่างการใช้ fuzzy modus ponens ในสถานการณ์จริงเช่น :

premise : This is a very beautiful car

implication : If a car is beautiful then the car is expensive

Conclusion : This car is very expensive

แม้ว่าจะมีผู้นำมาเสนอรูปแบบของการอ้างอิงแบบฟัชซีหลายลักษณะ แต่ที่นิยมใช้และมักนำไปเขียนและนำเสนอจะอยู่ในรูปแบบของ ซาเคห์ ดังต่อไปนี้

กำหนดให้ A และ B เป็นเซต Cartesian product $A \times B$ หมายถึงเซตของคู่อันดับ (a, b) ที่ a และ $b \in B$ และ binary relation บนเซต A และ B คือ subset ของ $A \times B$ ในทำนองเดียวกัน เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม binary fuzzy relation \tilde{R} ให้เป็น สับเซตของ fuzzy cartesian product $\tilde{A} \times \tilde{B}$ การจับคู่ของ $\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}$ แสดงได้โดยค่าของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ $\mu_R(a, b)$ ตัวอย่างเช่น ให้ $\tilde{A} = \tilde{B} = \tilde{R}$ เป็นเซตของจำนวนจริง และให้ \tilde{R} แทน “much larger than” เราอาจกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ relation R ได้ดังนี้

$$\mu_R(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{if } a < b; \\ [1 + (a - b)^{-2}]^{-1}, & \text{if } a > b. \end{cases}$$

ถ้าให้ X และ Y เป็น 2 เซตจักรวาลใดๆ และให้ \tilde{A} และ \tilde{B} เป็นฟัซซีเซตใน X และ $X \times Y$ ตามลำดับ กำหนดให้ fuzzy relation $\tilde{R}_A(x), \tilde{R}_B(x, y)$ และ $\tilde{R}_C(y)$ บน $X, X \times Y$ และ Y ตามลำดับ ดังนี้

compositional rule ของ inference จะเป็นรากของสมการ

$$\tilde{R}_C = \tilde{R}_A(x) \circ \tilde{R}_B(x, y) = \max_x \min\{\mu_A(x), \mu_B(x, y)\}$$

เมื่อสัญลักษณ์ \circ แทน compositional ของ \tilde{A} และ \tilde{B}

ตัวอย่าง

ให้ $X = Y = \{1, 2, 3, 4\}$
 $\tilde{A} = \{\text{little}\} = \{(1/1), (2/.6), (3/.2), (4/0)\}$
 $\tilde{R} = \text{approximately equal}$

และ fuzzy relation กำหนดโดย:

\tilde{R}					
X / Y		1	2	3	4
1		1	.5	0	0
2		.5	1	.5	0
3		0	.5	1	.5
4		0	0	.5	1

เมื่อใช้กฎ max_min composition จะได้

$$\begin{aligned}\tilde{R}_c(y) &= \max_x \min\{\mu_A(x), \mu_R(x, y)\} \\ &= \max_x \{\min[(1,1), (6,.5), (2,0), (0,0)], \\ &\quad \min[(1,.5), (6,1), (2,.5), (0,.5)], \\ &\quad \min[(1,0), (6,.5), (2,1), (0,.5)], \\ &\quad \min[(1,0), (6,0), (2,.5), (0,1)]\} \\ &= \max_x \{[1,.5,0,0], [.5,.6,2,0], [0,.5,.2,0], [0,0,2,0]\} \\ &= \{[1], [.6], [.5], [2]\}\end{aligned}$$

ดังนั้น รากของสมการคือ

$$\tilde{R}_c(y) = \{(1 /), (2 / .6), (3 / .5), (4 / .2)\}$$

ถ้าจะกล่าวสรุปตามลักษณะของ fuzzy modus ponens อาจยกตัวอย่างเปรียบเทียบได้ดังนี้

premise : Somchai is smart

implication : Sombat has approximately equal IQ as Somchai

Conclusion : Sombat is more or less smart

แนวความคิดดังกล่าวข้างต้นอาจขยายให้มีหลาย universes ได้ โดยทำ cartesian product และกำหนดความสัมพันธ์บนสับเซตต่าง ๆ

3.6.2 การคำนวณภาษาธรรมชาติ

ตัวแปรภาษาศาสตร์ (linguistic variables) เป็นตัวกลางที่ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างภาษาธรรมชาติหรือภาษามนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นกับรูปแบบแทนที่รวมความคิดเกี่ยวกับตัวออกปริมาณที่เป็นฟัซซีรวมอยู่ด้วย ในหัวข้อนี้จะเป็นการให้นิยามตัวแปรภาษาศาสตร์พร้อมทั้งแสดงให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับตรรกแบบฟัซซีอย่างไร

นิยาม ตัวแปรภาษาศาสตร์คือตัวแปรที่อาจกำหนดค่าให้เป็นคำ (words) หรือประโยคแทนที่จะเป็นเฉพาะตัวเอง

ตัวอย่าง เช่น

ตัวแปร AGE อาจมีค่าเป็น “very young”, “young”, “not young”, หรือ “not too young” ได้ คำเหล่านี้โดยตัวมันเองก็เป็นตัวแปรภาษาศาสตร์อยู่ และแต่ละตัวอาจมีความหมายเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้อีก ดังนั้นการกำหนดค่าและการตีความหมาย จะสมเหตุสมผลต่อเมื่อเราได้กำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมเท่านั้น

นิยาม ตัวแปรภาษาศาสตร์ นิยามให้เป็น $(x, T(x), U, G, M)$

เมื่อ

x เป็นชื่อของตัวแปร

$T(x)$ เป็น terminal set ของตัวแปร x (คือค่าที่เป็นไปได้ของ x)

U แทน Universe ที่กล่าวถึง (เช่น ช่วงอายุของชีวิต)

G เป็นเซตของ Syntactic rules หรือ grammar ที่ generates ค่าของ x

M เป็น semantic rules ซึ่งตรงกับแต่ละค่าของ x ที่มีความหมายเป็น $M(x)$ อันเป็นที่ซึ่งเซตของ U

ในที่นี้ grammar G นิยามให้เป็น : $G=(V_n, V_t, P, S)$ เมื่อ V_n เป็นเซตของสัญลักษณ์ Nonterminal, V_t แทนเซตของสัญลักษณ์สุดท้าย (terminal symbols), P เป็นเซตของ rewrite rules และ S สัญลักษณ์เริ่มต้น ภาษา $L(G)$ grammar G คือเซตของสตริง W ทั้งหมดที่สร้างมาจาก (derived) S โดยประกอบด้วยสัญลักษณ์ที่เป็นสมาชิกของ V_t

ตัวอย่าง กำหนดให้ $V_n = \{A, B, C, D, E, S\}$

P : $S \rightarrow A$ $A \rightarrow A \text{ and } B$

$S \rightarrow S \text{ or } A$ $B \rightarrow C$

$A \rightarrow B$ $B \rightarrow \text{not } C$

$C \rightarrow D$ $D \rightarrow \text{young}$

$C \rightarrow \text{very } C$ $E \rightarrow \text{old}$

$C \rightarrow E$

จากกฎดังกล่าว เราสามารถสร้างสตริง "not young and not very old" ได้ดังนี้

$S \rightarrow A$

$\rightarrow A \text{ and } B$

$\rightarrow A \text{ and not } C$

$\rightarrow A \text{ and not very } D$

$\rightarrow A \text{ and not very } E$

$\rightarrow A \text{ and not very old}$

$\rightarrow B \text{ and not very old}$

$\rightarrow \text{Not } C \text{ and not very old}$

$\rightarrow \text{Not } D \text{ and not very old}$

$\rightarrow \text{Not young and not very old}$

กฎความหมาย หรือ Semantic rule M จะทำการกำหนดความหมายให้กับตัวแปรภาษา
ศาสตร์ เช่น AGE เราอาจกำหนด $M(\text{old}) = \{(X, \mu_{\text{old}}(x)) \mid x \in [0, 200]\}$

ซึ่ง $\mu_{\text{old}}(x)$ นิยาม ดังนี้

$$\mu_{\text{old}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 50; \\ \left[1 + \left(\frac{x-50}{5} \right)^{-2} \right]^{-1}, & 50 < x \leq 200. \end{cases}$$

เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและทดลอง

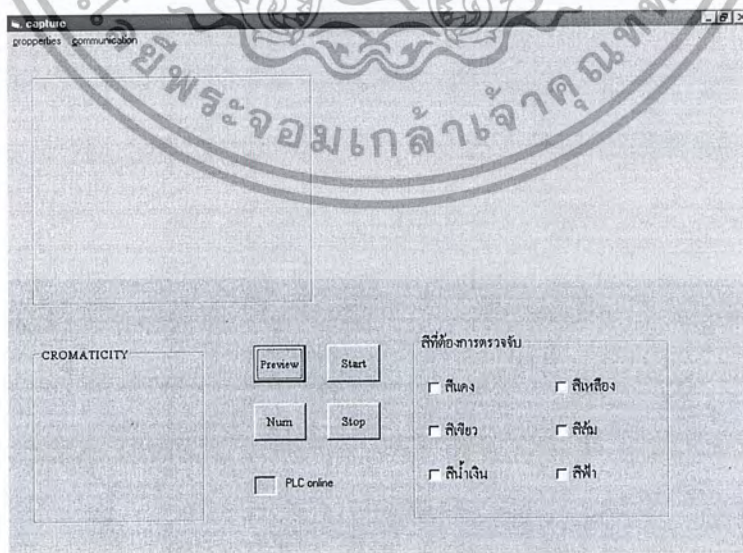
5.1 กล่าวนำ

การแยกสีในโครงการนี้เป็นการใช้กล้อง WebCam เข้ามาใช้ในการจำแนกสีแทนอุปกรณ์เซนเซอร์สีที่มีใช้อยู่ทั่วไป ทำให้ไม่สามารถใช้หลักการวัดความยาวคลื่นของสีต่างๆได้เหมือนกับอุปกรณ์เซนเซอร์สีทั่วไป

การที่จะใช้กล้อง WebCam เข้ามาใช้ในการจำแนกสีนั้นจำเป็นจะต้องหาเอกลักษณ์ของสีแต่ละสีแล้วจึงนำคุณสมบัติเหล่านั้นมาใช้ในการตัดสินใจจำแนกสีต่อไป สิ่งที่ทำผู้ทำโครงการได้เลือกมาใช้เป็นเอกลักษณ์แทนสีของวัตถุก็คือ อัตราส่วนการผสมกันระหว่างแม่สีหลักทั้ง 3 สี คือ แดง เขียว และ น้ำเงิน เนื่องจากสีทุก ๆ สีที่เรามองเห็นล้วนเกิดจากการผสมรวมกันระหว่างแม่สีทั้ง 3 ในอัตราส่วนที่ต่างกันไป ดังนั้นถ้าหากเราสามารถทำให้คอมพิวเตอร์ซึ่งรับภาพจากกล้อง WebCam รับรู้อัตราส่วนของการผสมกันระหว่างแม่สีของภาพที่รับมา ก็จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกได้ว่าภาพของวัตถุที่รับมานั้นเป็นสีอะไร

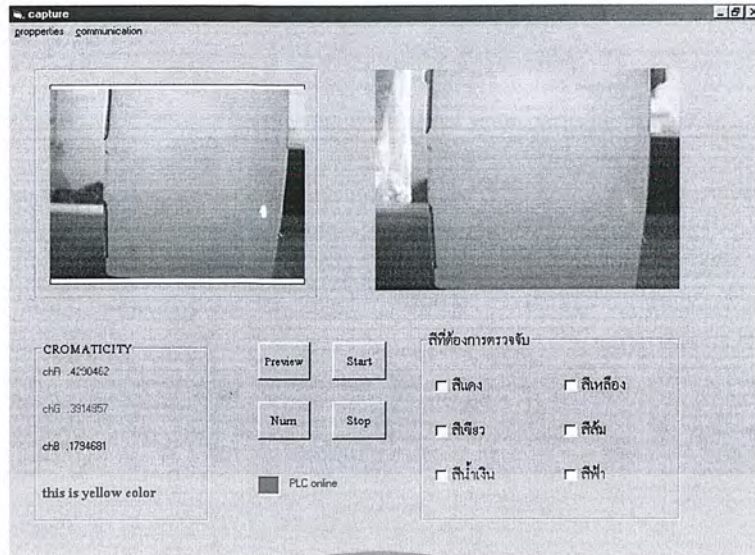
เนื่องจากแสงมีผลกระทบโดยตรงกับภาพที่รับมาจากกล้อง WebCam ค่าสีที่ทำการอ่านจากภาพที่รับมามีความคลาดเคลื่อนได้ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงจะต้องควบคุมให้แสงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

5.2 การออกแบบและผลการทำงาน



ภาพที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของโปรแกรม

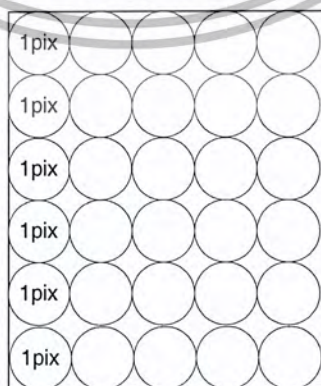
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.2 แสดงรายละเอียดของโปรแกรมเมื่อมีการทำงาน

5.2.1 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งในโครงการนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ให้สามารถติดต่อกับกล้อง WebCam เพื่อรับภาพมาคำนวณการจำแนกสี ในส่วนนี้เมื่อทำการรันโปรแกรมที่เขียนไว้จะติดต่อกับไดรเวอร์ของกล้องเพื่อนำภาพมาแสดงที่โปรแกรมที่เขียนขึ้น ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้การทำงานของโปรแกรมเร็วขึ้นเนื่องจากไม่ต้องไปรับภาพผ่านโปรแกรมอื่นแล้วนำมาวิเคราะห์

5.2.2 เขียนโปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่อ่านค่าระดับสีของแม่สีทั้ง 3 โดยเมื่อรับภาพจากกล้องมาแล้วก็จะทำการคัดลอกภาพที่ต้องการจำแนกไว้แล้วนำภาพที่คัดลอกไว้ นั้นมาอ่านค่าสีทีละจุดแล้วนำค่าสีของแต่ละจุดที่ได้ไปเข้าสมการเพื่อที่จะได้ทราบว่าแต่ละจุดประกอบด้วยระดับของแม่สีแต่ละสีว่าเป็นเท่าไร โดยแม่สีแต่ละสีจะมีระดับสีตั้งแต่ 0 - 255 ระดับ การที่จะต้องอ่านค่าสีทีละจุดก็เนื่องจากภาพเกิดจากจุดสีจำนวนมากที่มีสีต่างกันมาประกอบกันเป็น 1 ภาพ



ภาพที่ 5.3 แสดงจุดสีแต่ละจุดประกอบกันเป็นภาพ 1 ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ทำการหาอัตราส่วนการผสมสีของวัตถุ ว่าวัตถุแต่ละสีมีส่วนของแม่สีเท่าใดบ้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกสีต่อไป ซึ่งในการทำงานส่วนนี้ได้มีการเก็บข้อมูลของสัดส่วนการผสมของแม่สีจากภาพวัตถุสีต่างๆโดยสัดส่วนการผสมสีหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{chR} = \frac{R}{R+G+B} \quad \text{Chromaticcity Red}$$

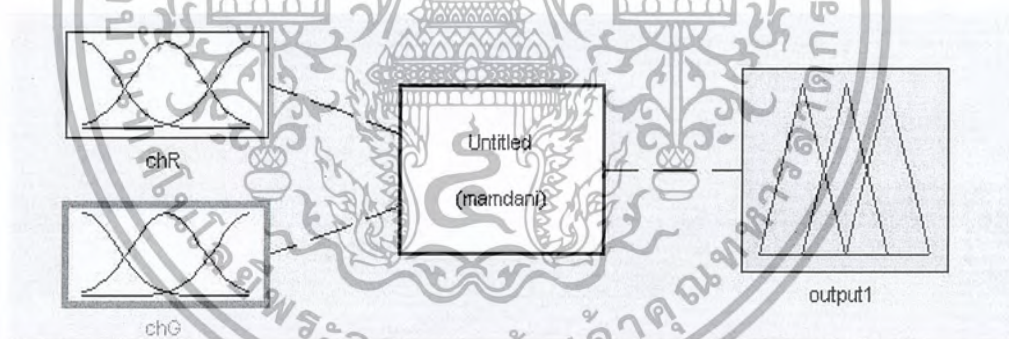
$$\text{chG} = \frac{G}{R+G+B} \quad \text{Chromaticcity Green}$$

เมื่อ

chR คือสัดส่วนสีแดง

chG คือสัดส่วนสีเขียว

เมื่อนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาหาสัดส่วนการผสมของแม่สีซึ่งในที่นี้จะสนใจเฉพาะสัดส่วนของสีแดง (chR)และสัดส่วนของสีเขียว(chG) ซึ่งจะใช้มาเป็นตัวแปรในการบ่งชี้สีของวัตถุ แทนการใช้ ความยาวคลื่นของสีที่ใช้กันในเซนเซอร์ตรวจจับสีทั่วไป และเมื่อได้ค่าสัดส่วนของสีทั้งสองในวัตถุแล้วก็จะนำเข้าสู่กระบวนการทางพีชชี่



ภาพที่ 5.4 แสดงการนำสัดส่วนสีทั้งสองเข้าระบบพีชชี่

หลังจากมีการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการหาสัดส่วนของสีทั้งสองของวัตถุสีต่างๆแล้วได้มีการเก็บค่าสัดส่วนสูงสุดและต่ำสุดที่เป็นไปได้ของแม่สีทั้งสองในวัตถุได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสัดส่วนสูงสุดและต่ำสุดของสีแดงและสีเขียวในวัตถุ

สีวัตถุ	chR_min	chR_max	chG_min	chG_max
เหลือง	0.3963983	0.4430161	0.3568466	0.4021071
น้ำตาล	0.399804	0.4821984	0.2202108	0.2799448
ชมพู	0.3614496	0.4134931	0.2639261	0.3072476
แดง	0.45043	0.552262	0.1749718	0.2504872
เขียว	0.299485	0.334334	0.3617595	0.435761
น้ำเงิน	0.03798515	0.3162602	0.1550642	0.2711779

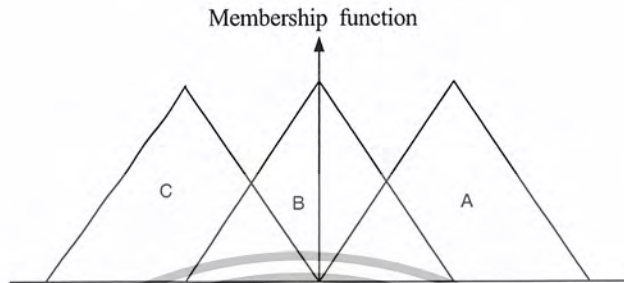
จากตารางแสดงข้อมูล Chromaticcity Red และ Chromaticcity Green จะเห็นว่าวัตถุแต่ละสีมีค่าระดับสีแดงหรือสีเขียวใกล้เคียงกันมาก ในสีวัตถุบางสีมีระดับสีแดงอยู่ในช่วงเดียวกันหรือทับกันจากข้อมูลตรงนี้ ทำให้ทราบว่าจะไม่สามารถใช้ระดับของแม่สีสีใดสีหนึ่งเป็นข้อมูลในการจำแนกสีได้ จำเป็นจะต้องใช้ระดับของแม่สีด้วยกัน 2 สีเพื่อมาใช้ เป็นข้อมูลในการจำแนกสี และเราจะใช้ระบบฟัซซี่เข้ามาช่วยในการจำแนกสี เพื่อลดปัญหาในเรื่องความใกล้เคียงกันของระดับ สีแดงหรือสีเขียว โดยจะนำค่า chR และ chG ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมมาเข้าฟังก์ชันเพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต (Membership Function of Fuzzy set : $\mu_x(u)$) ซึ่งมีวิธีการออกแบบดังนี้

5.3 การออกแบบฟัซซี่เซตที่ใช้ในโปรแกรม

5.3.1 ในการออกแบบโปรแกรมประมวลผลแบบฟัซซี่ นี้ผู้ทำโครงการได้ออกแบบให้มี อินพุต 2 อินพุต และจะต้องกำหนดกลุ่มของเซตออกมา 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มของเซตอินพุต
- กลุ่มของเซตเอาต์พุต

5.3.2 กำหนดกลุ่มของเซตอินพุทเป็นรูปสามเหลี่ยม เพื่อให้การเขียน โปรแกรมและการคำนวณระดับการเป็นสมาชิกของแต่ละอินพุทเป็นไปโดยง่าย เพราะสามารถคำนวณค่าความชันทางด้านซ้ายและขวาได้ง่ายกว่าการกำหนดเป็นลักษณะของรูปประฆังคว่ำ เพราะการกำหนดเป็นรูปสามเหลี่ยมจะใช้สมการเส้นตรงในการคำนวณ



ภาพที่ 5.5 แสดงลักษณะของเซตสามเหลี่ยมที่จะกำหนดให้อินพุท

ฟังก์ชันค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต (Membership Function of Fuzzy set: $\mu_x(u)$) ในวัตถุรูปแบบเดียวกันแต่มีสีต่างกันผู้ออกแบบได้กำหนดขึ้นจากการทดลองหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของสัดส่วนสีแดงและสัดส่วนสีเขียวของวัตถุแต่ละสีโดยควบคุมแสงให้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก จากนั้นจึงสร้างฟังก์ชันที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการเส้นตรงเพื่อให้ได้เซตทางอินพุทเป็นรูปสามเหลี่ยมฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมีดังนี้

- ค่าความเป็นสมาชิกในวัตถุสีเหลือง

$$\mu_{\text{yellow}}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.4197 \\ 0; chR \leq chR_{\text{min}} \\ 42.090207 chR - 17.0063066; chR_{\text{min}} < chR \leq 0.4197 \\ -42.009020 chR + 19.0063066; 0.4197 \leq chR < chR_{\text{max}} \\ 0; chR \geq chR_{\text{max}} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{yellow}}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.37947685 \\ 0; chG \leq chG_{\text{min}} \\ 44.18864131 chG - 15.76856641; chG_{\text{min}} < chG \leq 0.37947685 \\ -44.18864131 chG + 17.76856641; 0.37947685 \leq chG < chG_{\text{max}} \\ 0; chG \geq chG_{\text{max}} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความเป็นสมาชิกในวัตถุสีน้ำตาล

$$\mu_{brown}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.4410012 \\ 0; chR \leq chR_{min} \\ 24.27349432 chR - 9.704640123 ; chR_{min} < chR \leq 0.4410012 \\ -24.27349432 chR + 11.70464012 ; 0.4410012 \leq chR < chR_{max} \\ 0; chR \geq chR_{max} \end{cases}$$

$$\mu_{brown}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.2500778 \\ 0; chG \leq chG_{min} \\ 33.48176918 chG - 7.373047 ; chG_{min} < chG \leq 0.2500778 \\ -33.48176918 chG + 9.373047 ; 0.2500778 \leq chG < chG_{max} \\ 0; chG \geq chG_{max} \end{cases}$$

- ค่าความเป็นสมาชิกในวัตถุสีชมพู

$$\mu_{pink}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.3874696 \\ 0; chR \leq chR_{min} \\ 38.43198 chR - 13.89122 ; chR_{min} \leq chR \leq 0.3874696 \\ -38.43198 chR + 15.89136 ; 0.3874696 \leq chR < chR_{max} \\ 0; chR \geq chR_{max} \end{cases}$$

$$\mu_{pink}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.28559 \\ 0; chG \leq chG_{min} \\ 46.16645 chG - 12.184531 ; chG_{min} < chG \leq 0.28559 \\ -46.16645 chG + 14.184531 ; 0.28559 \leq chG < chG_{max} \\ 0; chG \geq chG_{max} \end{cases}$$

- ค่าความเป็นสมาชิกในวัตถุสีแดง

$$\mu_{red}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.5013181 \\ 0; chR \leq chR_{min} \\ 19.65096 chR - 8.85138 ; chR_{min} < chR \leq 0.5013181 \\ -19.65096 chR + 10.85138 ; 0.5013181 \leq chR < chR_{max} \\ 0; chR \geq chR_{max} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{red}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.21273 \\ 0; chG \leq chG_{min} \\ 26.48466 chG - 4.63407; chG_{min} < chG \leq 0.21273 \\ -26.48466 chG + -6.63407; 0.21273 \leq chG < chG_{max} \\ 0; chG \geq chG_{max} \end{cases}$$

- ค่าความเป็นสมาชิกของวัตถุสีเขียว

$$\mu_{green}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.31688625 \\ 0; chR \leq chR_{min} \\ 57.314 chR - 17.16202; chR_{min} < chR \leq 0.31688625 \\ -57.314 chR + 19.16202; 0.31688625 \leq chR < chR_{max} \\ 0; chG \geq chR_{max} \end{cases}$$

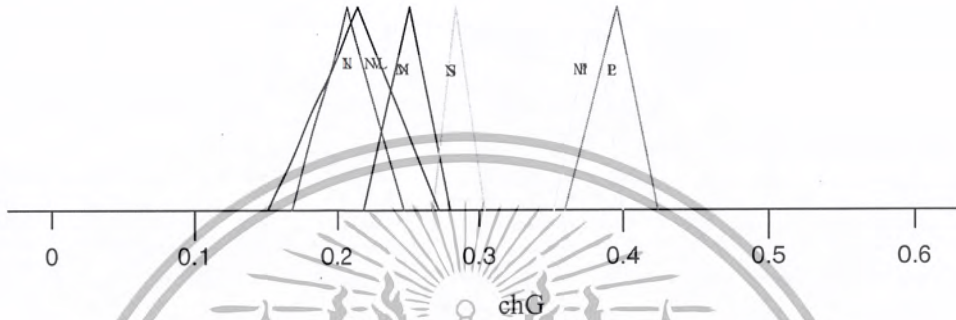
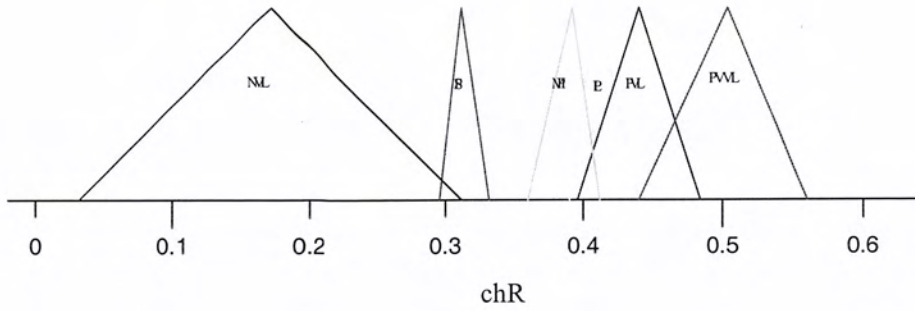
$$\mu_{green}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.39876 \\ 0; chG \leq chG_{min} \\ 27.02703 chG - 9.7773; chG_{min} < chG \leq 0.39876 \\ -27.02703 chG + 11.7773; 0.39876 \leq chG < chG_{max} \\ 0; chG \geq chG_{max} \end{cases}$$

- ค่าความเป็นสมาชิกของวัตถุสีน้ำเงิน

$$\mu_{blue}(chR) = \begin{cases} 1; chR = 0.17713 \\ 0; chR \leq chR_{min} \\ 7.187 chR - 0.273; chR_{min} < chR \leq 0.17713 \\ -7.187 chR + 2.273; 0.17713 \leq chR < chR_{max} \\ 0; chG \geq chR_{max} \end{cases}$$

$$\mu_{blue}(chG) = \begin{cases} 1; chG = 0.21312 \\ 0; chG \leq chG_{min} \\ 17.22450 chG - 2.6709; chG_{min} < chG \leq 0.21312 \\ -17.22450 chG + 4.6709; 0.21312 \leq chG < chG_{max} \\ 0; chG \geq chG_{max} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 แสดงการแบ่งช่วงสีโดยใช้สัดส่วนสีแดง และ สีเขียว

5.3.3 กำหนดกฎการควบคุม (Fuzzy Inference Rules)

การกำหนดหน่วยการควบคุมจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขการตัดสินใจของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ โดยจะเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ของเซตทางอินพุต และเซตทางเอาต์พุต หน่วยการควบคุมที่ใช้ในโครงการนี้มีดังนี้

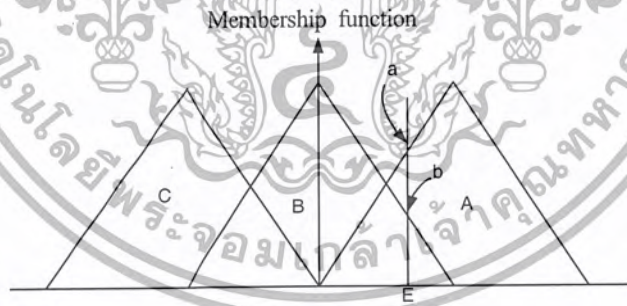
- If ((chR is PVV) and (chG is (NL))) then Color is Red
- If ((chR is PVL) and (chG is (NM))) then Color is Brown
- If ((chR is PL) and (chG is (Pm))) then Color is Yellow
- If ((chR is PM) and (chG is (NS))) then Color is Pink
- If ((chR is PS) and (chG is (PL))) then Color is Green
- If ((chR is NVL) and (chG is (NVL))) then Color is Blue

ตารางที่ 5.2 สรุปกฎการควบคุมที่ใช้ในโรงงาน

	NVL	PS	PM	PL	PVL	PVVL
NVL	BLUE					
NL						RED
NM					BROWN	
NS			PINK			
PM				YELLOW		
PL		GREEN				

5.3.4 การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzyfication)

การฟัซซีฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุต เพื่อเป็นตัวแทนของอินพุตซึ่งมีค่าเป็นตัวเลขสำหรับใช้เป็นอินพุตของระบบฟัซซี หรือคือแปลงค่าตัวแปรของกระบวนการให้เป็นตัวแปรของฟัซซี โดยค่าของฟัซซีจะเป็นค่าของตัวเลขที่ได้จากฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุต ซึ่งในการฟัซซีฟิเคชันสามารถทำได้หลายวิธีแต่ในโรงงานนี้จะใช้วิธี การฟัซซีฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน โดยจะใช้หลักการการอินเตอร์เซกชันระหว่างกลุ่มเซตทางอินพุตที่ถูกกำหนดขึ้นกับเซตแบบซิงเกิลตัน ยกตัวอย่างดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 5.7 แสดงการฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้เซตแบบซิงเกิลตัน

จากรูปเมื่อกลุ่มเซตทางอินพุตประกอบด้วย เซต A, B, C ซึ่งเป็นฟัซซีเซตแบบฟัซซีนิ้มเบอร์และเซตที่จะถูกนำมาอินเตอร์เซกชันด้วยคือ เซต E ซึ่งเป็นเซตแบบซิงเกิลตันซึ่งจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีอินพุตเข้ามาซึ่งเมื่อทำการอินเตอร์เซกชันแล้วจะทำให้เกิดจุดซ้อนทับกัน 2 จุด คือจุด a และจุด c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 ทำการอินเฟอร์เรนซ์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Inferenc)

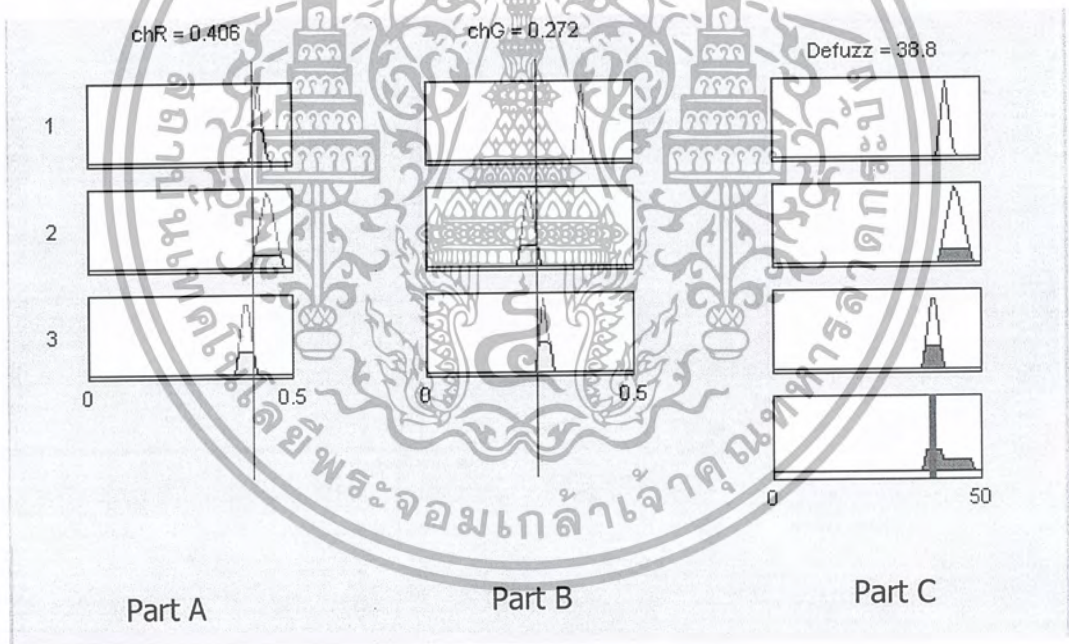
การอินเฟอร์เรนซ์จะเป็นการหาข้อสรุปซึ่งจะได้มาจากกฎการควบคุมที่ถูกกำหนดขึ้นยกตัวอย่างจากกฎการควบคุมในโรงงานที่ว่า

If ((chR is PVVL) and (chG is (NL))) then Color is Red

ก็คือเมื่อมีอินพุตที่ 1 เข้ามาที่เซต PVVL และอินพุตที่ 2 เข้ามาที่เซต NL แล้วจะทำให้เกิดเอาต์พุตที่เซต RED เป็นต้น

5.3.5 ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

หลังจากที่ได้เซตที่มาจากอินเฟอร์เรนซ์แล้วก็เข้าสู่ขั้นตอนในการการดีฟัซซิฟิเคชัน ซึ่งก็คือกระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว (ซิงเกิลตัน) ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซี่เอาต์พุต



ภาพที่ 5.8 แสดงกระบวนการทางฟัซซี่

- Part A เป็นส่วนของกลุ่มเซตของอินพุตที่ 1 (chR)
- Part B เป็นส่วนของกลุ่มเซตของอินพุตที่ 2 (chG)
- Part C เป็นส่วนของกลุ่มเซตทางเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพเมื่อโปรแกรมจับภาพวัตถุแล้วทำการแยกสัดส่วนของสีได้คือ $chR = 0.406$ และ $chG = 0.272$ ซึ่งทั้งคู่จะเป็นเขตซึ่งเกิดตัน chR จะไปทำการอินเทอเซกชันกับกลุ่มเขตใน Prt A และ chG จะไปทำการอินเทอเซกชันกับกลุ่มเขตใน Prt B ซึ่งก็คือการพีซซีพีเคชันอย่างหนึ่ง และจะถูกทำอินเฟอร์เรนซ์ออกที่ Part C โดยมีกฎการควบคุม(Inference Rules) ควบคุมอยู่ใน Part C แดวที่ 4 จะเป็นการคิพีซซีพีเคชันหรือการหาค่าเอาท์พุทที่เหมาะสมและใช้ในการควบคุมต่อไป

5.4 การทำให้โปรแกรม Capture ภาพของวัตถุแล้วนำมาวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ

เนื่องจากเราต้องการจะตรวจจับสีของวัตถุที่ผ่านเข้ามาบริเวณหน้ากล้อง WebCam ดังนั้นเมื่อวัตถุยังไม่เคลื่อนเข้ามาโปรแกรมก็จะไม่ทำงาน การที่จะทำให้โปรแกรมรับรู้ว่ามีวัตถุผ่านเข้ามาแล้วนั้นจำเป็นจะต้องสร้างตัวตรวจจับวัตถุหรือเซนเซอร์ เพื่อคอยส่งสัญญาณไปบอกตัวโปรแกรมว่ามีวัตถุผ่านเข้ามาแล้ว โดยในการส่งข้อมูลระหว่างตัวเซนเซอร์กับ โปรแกรมนั้นจะติดต่อผ่าน PLC ซึ่ง PLC กับคอมพิวเตอร์จะติดต่อกันทางพอร์ตอนุกรม RS-232

5.4.1 การติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial port) ในส่วนนี้โปรแกรมจะต้องทำงานร่วมกับ PLC ทั้งในส่วนของการรับข้อมูลจาก PLC ซึ่งข้อมูลที่รับมาก็คือข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ว่ามีวัตถุเข้ามาหรือยัง และส่งข้อมูลไปให้เครื่อง PLC เพื่อดำเนินการควบคุม ซึ่งในส่วนนี้คอมพิวเตอร์ไม่ได้เข้าไปควบคุมการทำงานของ PLC โดยตรงแต่จะเป็นเพียงการรับส่งข้อมูลข่าวสารกัน ถึงแม้จะไม่มี การควบคุมกันโดยตรงระหว่าง PLC กับตัวโปรแกรมวิเคราะห์สีแต่การทำงานของทั้งสองส่วนจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเกิดจากข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกัน

เมื่อต้องการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม โปรแกรมจะเข้าไปทำการเปิดพอร์ตที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับ PLC ซึ่งในที่นี้ได้ใช้การติดต่อโดยผ่าน PORT COM1 เมื่อมีการเปิดพอร์ตแล้วก็จะมีการ กำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล และข้อกำหนดที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารอื่นๆ

เนื่องจากการติดต่อกันของคอมพิวเตอร์และ PLC นี้ จะเป็นแบบ HOST LINK PROTOCOL การที่ PLC จะส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์เมื่อมีวัตถุใหม่เข้ามา นั้น คอมพิวเตอร์จะต้องมีคำสั่งออกไปเพื่อให้ PLC ตอบกลับมา ซึ่งเป็นแบบถามไปแล้วตอบกลับมา ดังนั้นถ้าต้องการให้การทำงานเป็นแบบ REAL TIME คอมพิวเตอร์กับ PLC จะต้องมีการรับส่งข้อมูลกันตลอดเวลา เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อ SENSOR ตรวจพบวัตถุใหม่เข้ามาแต่ไม่สามารถส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ทราบได้เนื่องจากคอมพิวเตอร์ยังไม่ได้มีการส่งข้อมูลมาถาม ซึ่งการทำให้คอมพิวเตอร์ติดต่อกับ PLC ตลอดเวลานี้จะทำได้โดยการใช้หลักการในเรื่องของการวนลูปมาใช้ในการเขียนโปรแกรม

5.5 ระบบสายพานลำเลียง (Line Conveyer)

ระบบสายพานลำเลียงในโครงการนี้ถูกออกแบบมา เพื่อใช้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำผลการวิเคราะห์สีมาใช้ในการควบคุมระบบได้ โดยระบบสายพานลำเลียงนี้จะถูกควบคุมโดยเครื่อง PLC ซึ่งได้รับข้อมูลการวิเคราะห์สีจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้มาจะถูกตั้งเป็นเงื่อนไขในการทำงานซึ่งอยู่ในรูปของ Ladder diagram เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงต่อไป ส่วนประกอบของสายพานลำเลียงที่สำคัญมีดังนี้

5.5.1 ระบบเซนเซอร์

เซนเซอร์มีหน้าที่ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่เข้ามาของวัตถุเพื่อให้โปรแกรมรับรู้ความเคลื่อนไหวภายในระบบสายพานลำเลียง ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้จะเป็นเซนเซอร์อินฟราเรดในการทำงานมี 2 ส่วนด้วยกัน คือ เซนเซอร์ตัวส่ง และเซนเซอร์ตัวรับ เซนเซอร์ทั้ง 2 ชุดนี้จะถูกวางแยกในฝั่งตรงกันข้ามกันเมื่อมีวัตถุผ่านเข้ามาทำให้ลำแสงอินฟราเรดถูกกีดขวางไม่สามารถส่งไปยังตัวรับได้ ทำให้ตัวรับมีแรงดันออกเอาท์พุท 5 V และเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านออกไปแล้วทำให้ตัวรับอินฟราเรดไม่ส่งแรงดันออกเอาท์พุท



ภาพที่ 5.9 แสดงระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนระบบสายพานลำเลียง

5.5.2 ระบบขับเคลื่อน

ในส่วนนี้จะใช้มอเตอร์ AC มาเป็นตัวขับให้สายพานเคลื่อนที่ไป มอเตอร์ที่ใช้จะถูกทอดเพื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของสายพาน เนื่องจากถ้าหากสายพานเคลื่อนที่เร็วจะทำให้

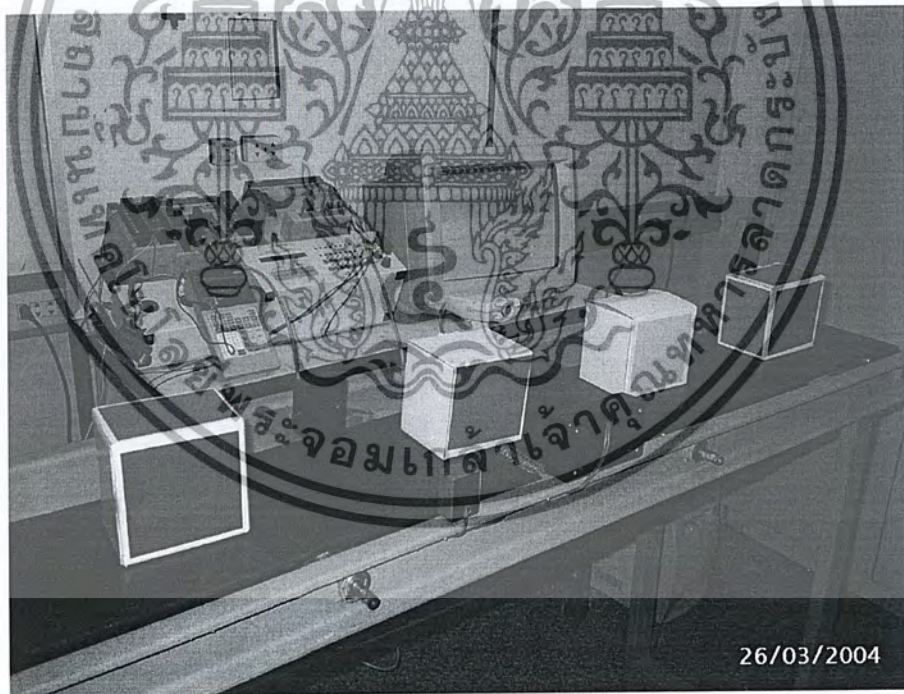
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุที่ผ่านเข้ามามีความเร็วมากขึ้นด้วยในบางครั้งอาจทำให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นประมวลผลไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้เพื่อป้องกันปัญหาในเรื่องนี้เราจึงต้องทำให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ช้าๆ

ในการสั่งให้สายพานเคลื่อนที่จะถูกสั่งจากโปรแกรมที่เขียนขึ้น เมื่อต้องการให้สายพานหมุนก็ต้องสั่งผ่านทางตัวโปรแกรมโดย กดปุ่ม Start บนหน้าจอที่แสดงโปรแกรม และเมื่อต้องการให้ระบบหยุดการทำงานกดปุ่ม Stop ระบบสายพานก็จะหยุดเคลื่อนที่

5.6 การทำงานของระบบ

วัตถุสีต่างๆ จะถูกปล่อยมาตามสายพานลำเลียง และเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์โปรแกรมก็จะส่งถ่ายภาพวัตถุชิ้นนั้นและวิเคราะห์สีว่าเป็นสีใด เราสามารถกำหนดสีที่เราต้องการได้จากโปรแกรมซึ่งจะอยู่ในหัวข้อสีที่ต้องการตรวจจับ โดยคลิกไปที่สีที่ต้องการ และเมื่อวัตถุที่ผ่านเข้ามาเป็นสีเดียวกันกับสีที่เลือกไว้สายพานลำเลียงก็จะหยุดรอนกว่าจะหยิบวัตถุชิ้นนั้นออกไปสายพานก็จะหมุนต่อไป



ภาพที่ 5.10 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การนำอัตราส่วนผสมของแม่สีมาเป็นตัวเอกลักษณ์ของสี เพื่อใช้ในการตรวจจับสีความถูกต้องของการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับการแบ่งช่วงของแต่ละสี ว่ามีอัตราส่วนของแม่สีเท่าใดจึงจะทำให้เกิดสีนั้น ๆ ดังนั้นถ้าเราสามารถแบ่งช่วงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากเท่าใด ก็จะทำให้การทำงานมีความถูกต้องมากขึ้น

นอกจากนี้แสงยังคงเป็นตัวแปรสำคัญของการวิเคราะห์ด้วย เพราะแสงจะทำให้ความเข้มของสีวัตถุเปลี่ยนไปซึ่งปัญหานี้อาจจะแก้โดยการควบคุมแสงสว่างในสถานที่ใช้งาน และใช้การแบ่งช่วงสีให้ครอบคลุมความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนผสมของแม่สีเมื่อแสงมีการเปลี่ยนแปลง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

โปรแกรมที่สร้างขึ้นยังต้องการผู้ที่จะมาพัฒนาต่อ เพื่อเพิ่มความสามารถของโปรแกรม และขจัดปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของ โปรแกรม แนวทางการพัฒนาต่อไปอาจจะหา เอกลักษณ์ของสีต่างๆเพื่อมาใช้ในการตรวจจับแทนอัตราส่วนผสมของแม่สี หรือถ้าหากยังใช้อัตราส่วนผสมของแม่สีในการตรวจจับอยู่ก็อาจจะนำความเข้มของแสงมาเป็นเงื่อนไขในการเขียน โปรแกรมก็ได้

และถ้าหากต้องการให้โปรแกรมสามารถแยกแยะสีได้มากขึ้น ก็ควรใช้ HUE เข้ามาเป็นตัวกำหนดแทนการใช้สัดส่วนของการผสมของแม่สี

ในส่วนของการพัฒนาสายพานลำเลียงอาจจะมีการเพิ่มกระบวนการควบคุมเพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถนำผลการวิเคราะห์มาควบคุมกระบวนการได้ ซึ่งจะให้เห็นภาพชัดเจนกว่าการที่จะสั่งให้สายพานหยุดเมื่อเจอสีที่ต้องการ

บรรณานุกรม

อ.ทวีพล ซื่อสัตย์, ระบบโรงงานอัตโนมัติ, ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สัจจะ จรัสรุ่งรวีร, คู่มือการเขียนโปรแกรมและการใช้งาน Visual Basic 6.0, อินโฟเพรส,
กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2544, 392หน้า.

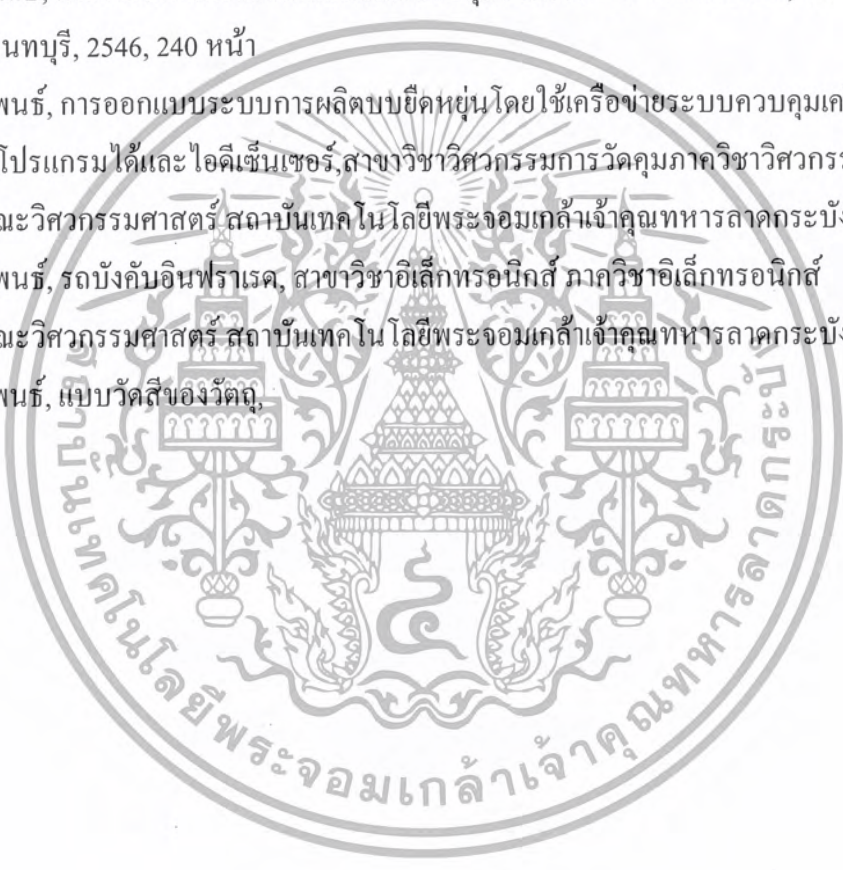
สัจจะ จรัสรุ่งรวีร, คู่มือการสร้างแอปพลิเคชันด้วย Visual Basic 6.0 ฉบับสมบูรณ์, อินโฟเพรส,
กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 422 หน้า.

อภิชาติ ภู่วัฒน์, เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic, อินโฟเพรส,
นนทบุรี, 2546, 240 หน้า

ปริญญา นิพนธ์, การออกแบบระบบการผลิตขี้ดหุ่ย โดยใช้เครือข่ายระบบควบคุมเครื่องควบคุม
ที่โปรแกรมได้และไอซีเซ็นเซอร์, สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริญญา นิพนธ์, รถบังคับอินฟราเรด, สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริญญา นิพนธ์, แบบวัดสีของวัตถุ.

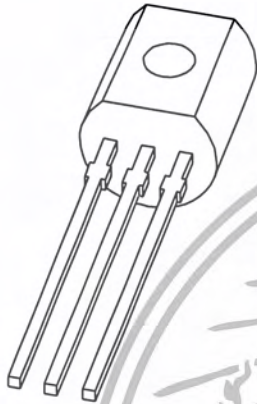




ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



BC546; BC547 NPN general purpose transistors

Product specification
Supersedes data of 1997 Mar 04

1999 Apr 15

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 65 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.
PNP complements: BC556 and BC557.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

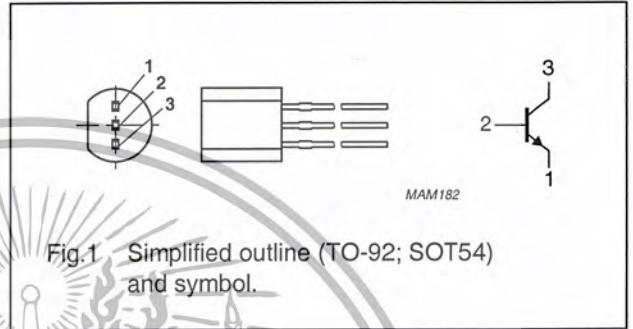


Fig.1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CBO}	collector-base voltage	open emitter	-	80	V
	BC546		-	50	V
V _{CEO}	collector-emitter voltage	open base	-	65	V
	BC547		-	45	V
V _{EBO}	emitter-base voltage	open collector	-	6	V
	BC547		-	6	V
I _C	collector current (DC)		-	100	mA
I _{CM}	peak collector current		-	200	mA
I _{BM}	peak base current		-	200	mA
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C; note 1	-	500	mW
T _{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T _j	junction temperature		-	150	°C
T _{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	°C

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.25	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

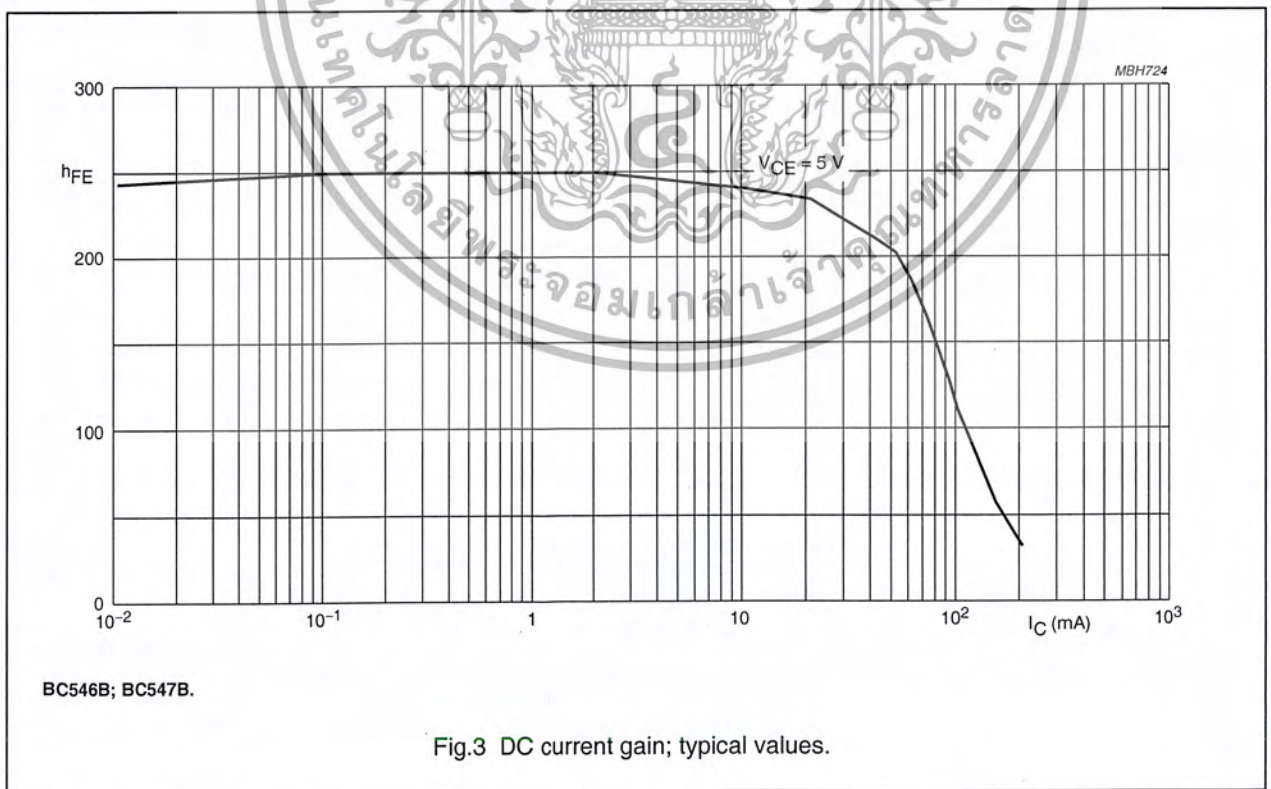
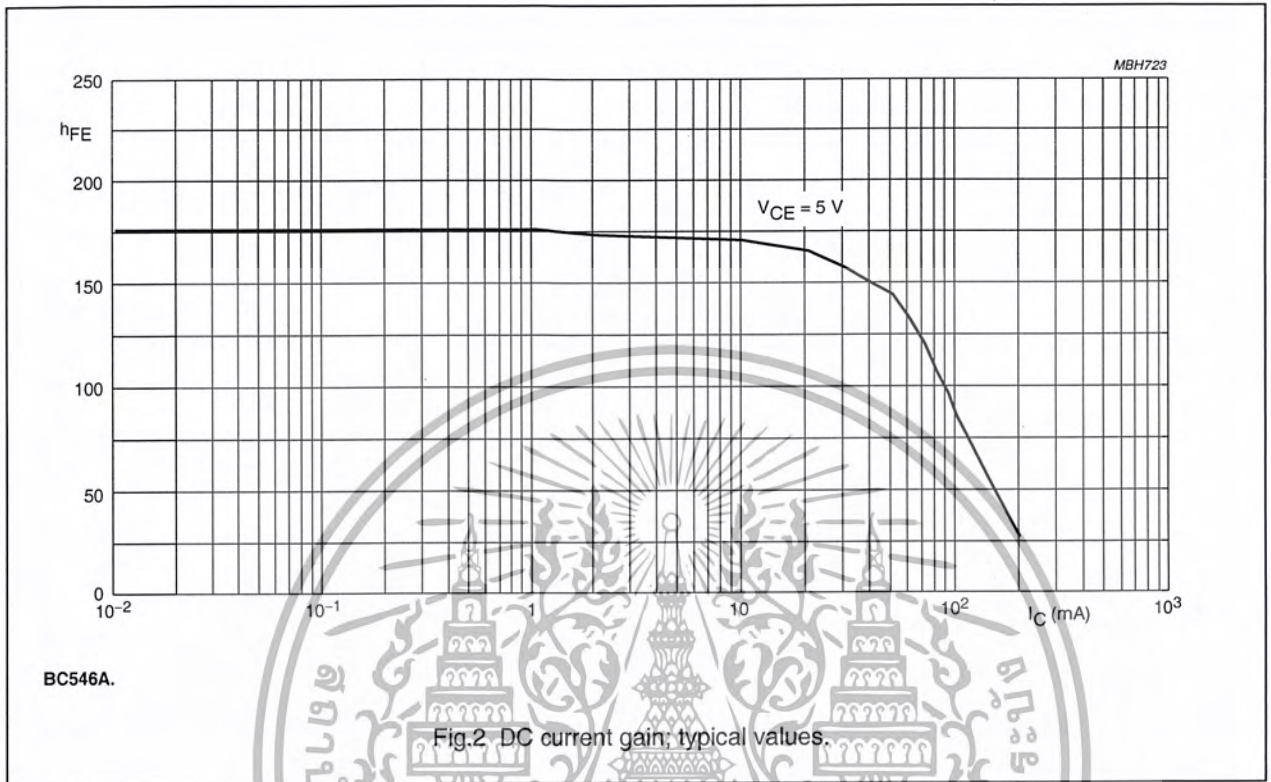
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$	–	–	15	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	5	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	–	90	–	
			–	150	–	
			–	270	–	
	DC current gain	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	110	180	220	
			200	290	450	
420			520	800		
110			800	450		
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}$	–	90	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}$	–	200	600	mV
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA};$ note 1	–	700	–	mV
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA};$ note 1	–	900	–	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ note 2	580	660	700	mV
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$	–	–	770	mV
C_c	collector capacitance	$I_E = i_e = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	1.5	–	pF
C_e	emitter capacitance	$I_C = i_c = 0; V_{EB} = 0.5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	11	–	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz
F	noise figure	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $R_S = 2\text{ k}\Omega; f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	2	10	dB

Notes

1. V_{BEsat} decreases by about 1.7 mV/K with increasing temperature.
2. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

NPN general purpose transistors

BC546; BC547



NPN general purpose transistors

BC546; BC547

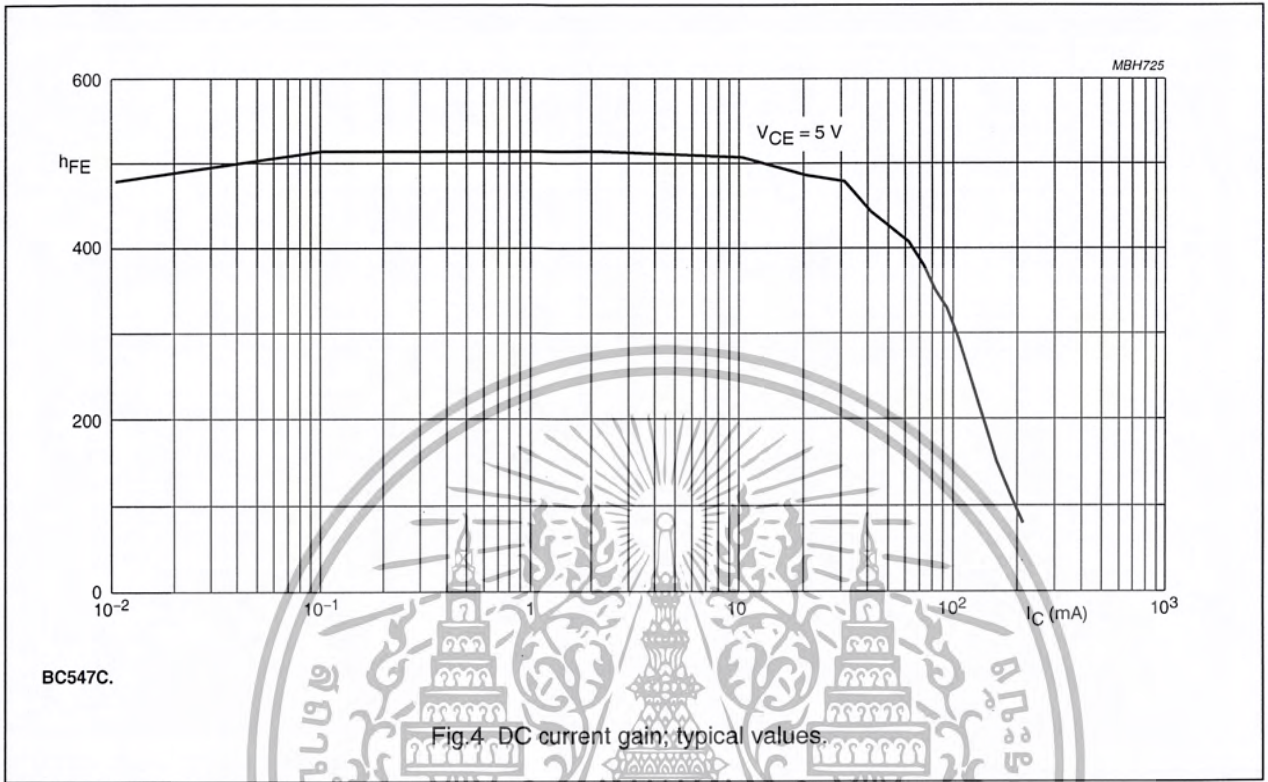


Fig.4. DC current gain; typical values.



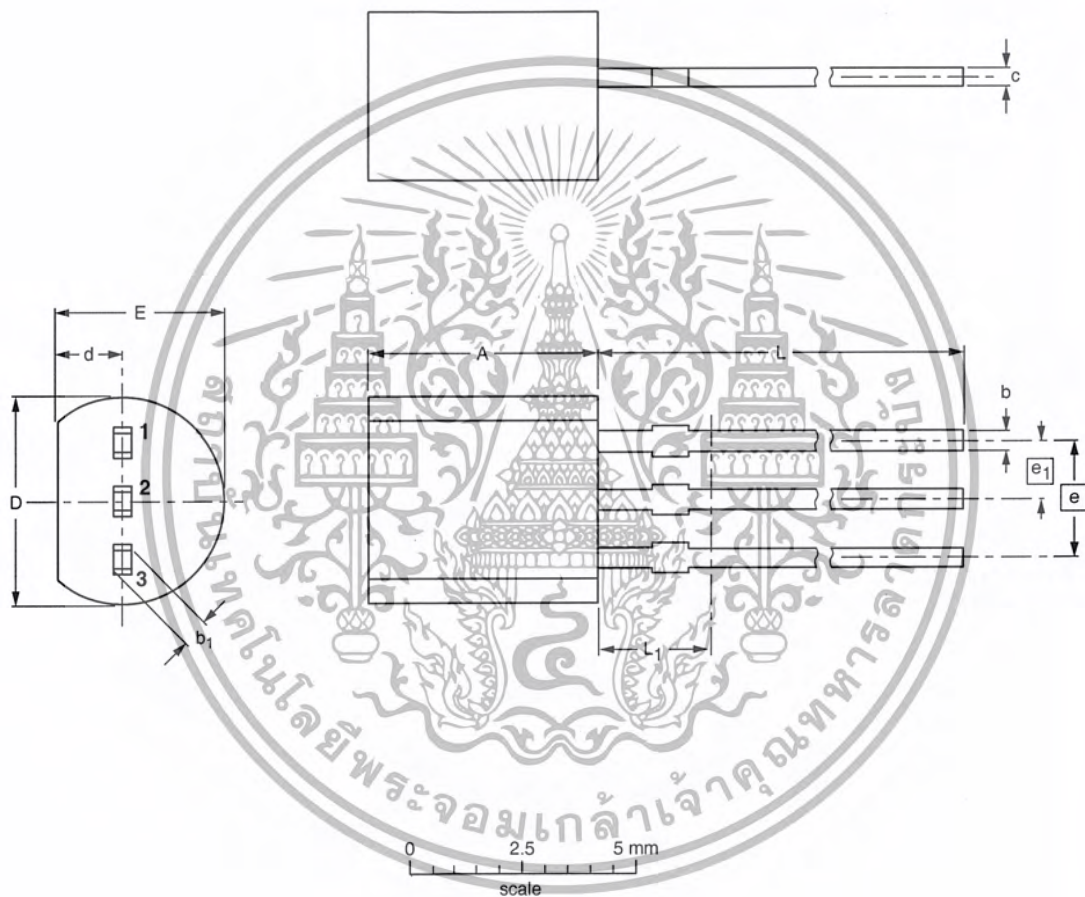
NPN general purpose transistors

BC546; BC547

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads

SOT54



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ (1)
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT54		TO-92	SC-43		97-02-28

NPN general purpose transistors

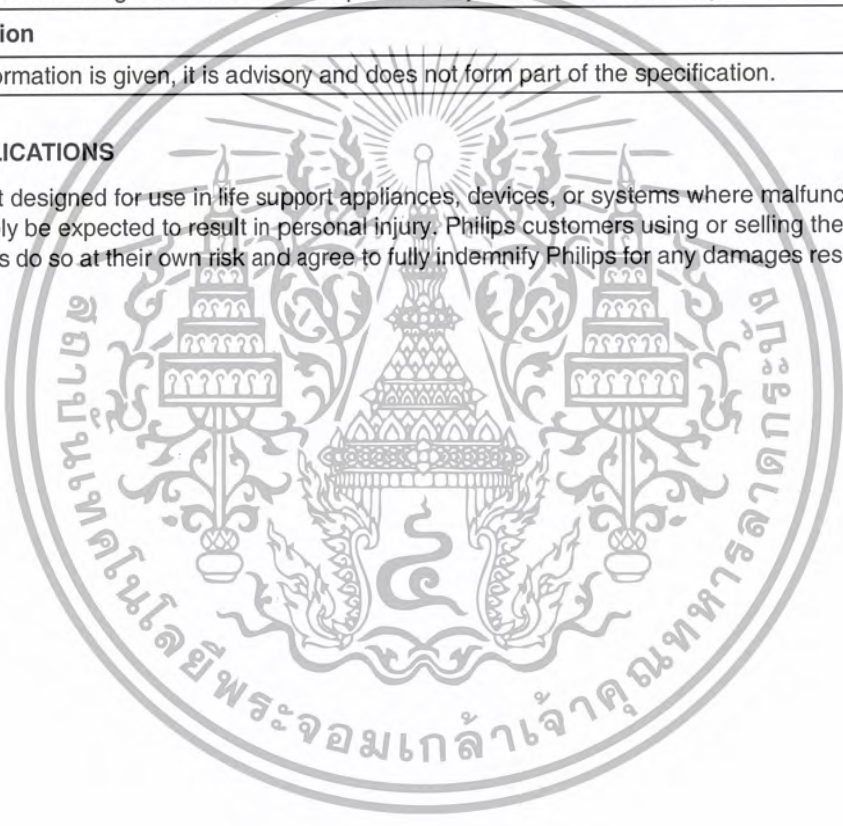
BC546; BC547

DEFINITIONS

Data Sheet Status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.



Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213,
Tel. +43 1 60 101 1248, Fax. +43 1 60 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,
220050 MINSK, Tel. +375 172 20 0733, Fax. +375 172 20 0773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor,
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,
Tel. +359 2 68 9211, Fax. +359 2 68 9102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Sydhavnsgade 23, 1780 COPENHAGEN V,
Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3905

Finland: Sinikalliontie 3, FIN-02630 ESPOO,
Tel. +358 9 615 800, Fax. +358 9 6158 0920

France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,
Tel. +33 1 4099 6161, Fax. +33 1 4099 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,
Tel. +49 40 2353 60, Fax. +49 40 2353 6300

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division,
Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510,
Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053,
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku,
TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,
Tel. +9-5 800 234 7381, Fax +9-5 800 943 0087

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,
Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI,
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762,
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor,
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,
Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,
Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,
252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 780 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD,
Tel. +381 11 62 5344, Fax. +381 11 63 5777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1999

SCA63

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

115002/00/03/pp8

Date of release: 1999 Apr 15

Document order number: 9397 750 05677

Let's make things better.

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

ULN2003AP, ULN2003AFW, ULN2004AP, ULN2004AFW

7CH DARLINGTON SINK DRIVER

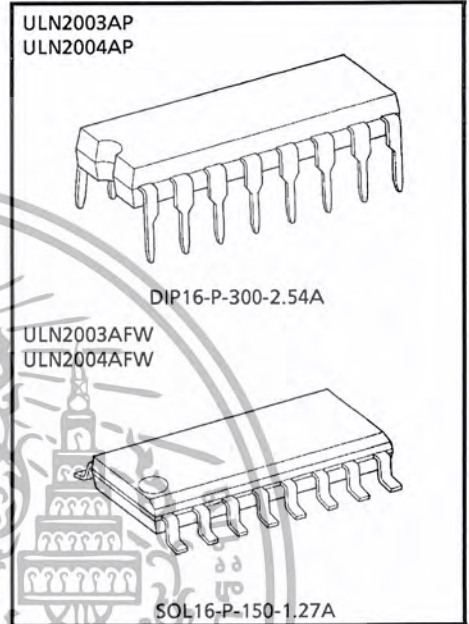
The ULN2003AP / AFW Series are high-voltage, high-current darlington drivers comprised of seven NPN darlington pairs.

All units feature integral clamp diodes for switching inductive loads.

Applications include relay, hammer, lamp and display (LED) drivers.

FEATURES

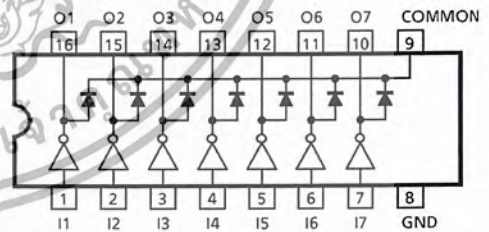
- Output current (single output) 500 mA MAX.
- High sustaining voltage output 50 V MIN. (ULN2003AP / AFW Series)
- Output clamp diodes
- Inputs compatible with various types of logic
- Package Type-AP : DIP-16pin
- Package Type-AFW : SOL-16pin



Weight
 DIP16-P-300-2.54A : 1.11 g (Typ.)
 SOL16-P-150-1.27A : 0.15 g (Typ.)

TYPE	INPUT BASE RESISTOR	DESIGNATION
ULN2003AP / AFW	2.7 kΩ	TTL, 5 V CMOS
ULN2004AP / AFW	10.5 kΩ	6~15 V PMOS, CMOS

PIN CONNECTION (TOP VIEW)



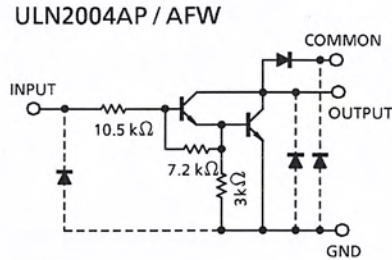
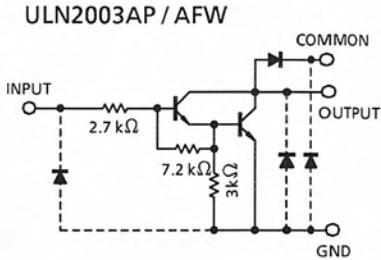
980910EBA1

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

1999-10-06 1/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATICS (EACH DRIVER)



(Note) : The input and output parasitic diodes cannot be used as clamp diodes.

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

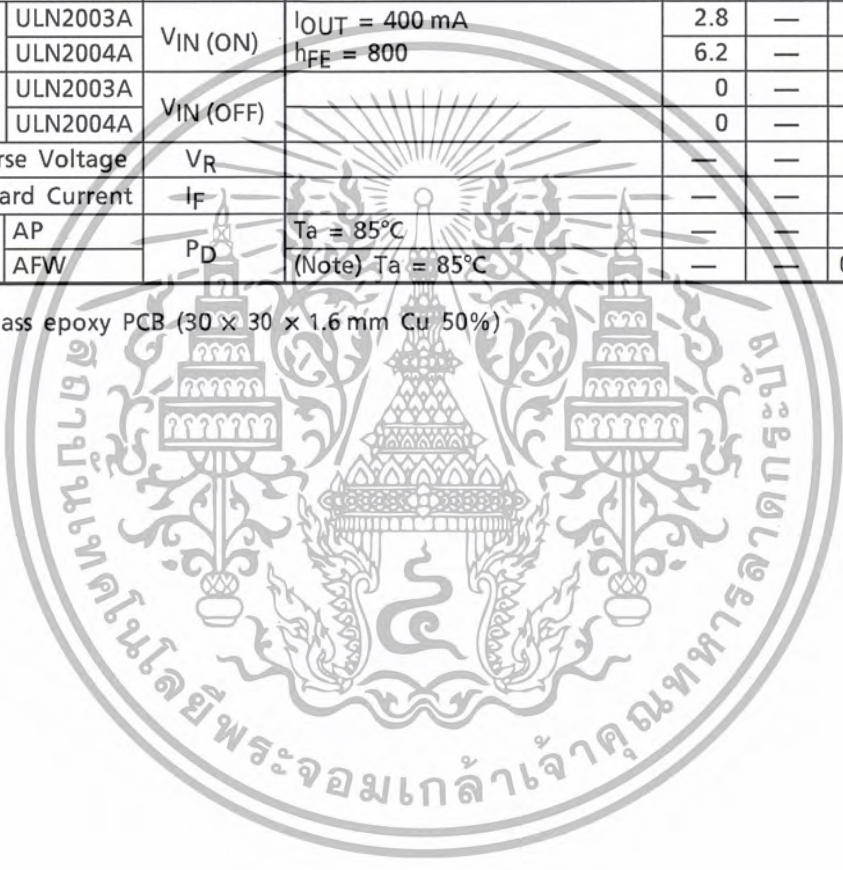
CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Output Sustaining Voltage	V _{CE(SUS)}	- 0.5~50	V
Output Current	I _{OUT}	500	mA / ch
Input Voltage	V _{IN}	- 0.5~30	V
Clamp Diode Reverse Voltage	V _R	50	V
Clamp Diode Forward Current	I _F	500	mA
Power Dissipation	AP	1.47	W
	AFW	0.54 / 0.625 (Note)	
Operating Temperature	T _{opr}	- 40~85	°C
Storage Temperature	T _{stg}	- 55~150	°C

(Note) : On glass epoxy PCB (30 × 30 × 1.6 mm Cu 50%)

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (Ta = -40~85°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Output Sustaining Voltage		V _{CE (SUS)}		0	—	50	V	
Output Current	AP	I _{OUT}	T _{pw} = 25 ms 7 Circuits Ta = 85°C Tj = 120°C	Duty = 10%	0	—	370	mA / ch
	AFW			Duty = 50%	0	—	130	
				Duty = 10%	0	—	233	
				Duty = 50%	0	—	70	
Input Voltage		V _{IN}		0	—	24	V	
Input Voltage (Output On)	ULN2003A	V _{IN (ON)}	I _{OUT} = 400 mA h _{FE} = 800	2.8	—	24	V	
	ULN2004A			6.2	—	24		
Input Voltage (Output Off)	ULN2003A	V _{IN (OFF)}		0	—	0.7	V	
	ULN2004A			0	—	1.0		
Clamp Diode Reverse Voltage		V _R		—	—	50	V	
Clamp Diode Forward Current		I _F		—	—	350	mA	
Power Dissipation	AP	P _D	Ta = 85°C (Note) Ta = 85°C	—	—	0.76	W	
	AFW			—	—	0.325		

(Note) : On glass epoxy PCB (30 × 30 × 1.6 mm Cu 50%)

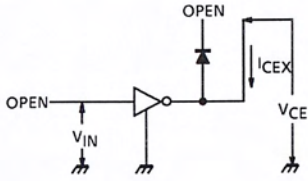


ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C unless otherwise noted)

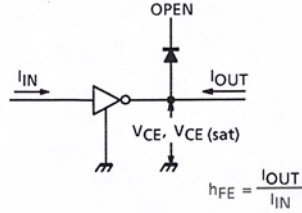
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Output Leakage Current	I _{CEX}	1	V _{CE} = 50 V, Ta = 25°C	—	—	50	μA	
			V _{CE} = 50 V, Ta = 85°C	—	—	100		
Collector-Emitter Saturation Voltage	V _{CE (sat)}	2	I _{OUT} = 350 mA, I _{IN} = 500 μA	—	1.3	1.6	V	
			I _{OUT} = 200 mA, I _{IN} = 350 μA	—	1.1	1.3		
			I _{OUT} = 100 mA, I _{IN} = 250 μA	—	0.9	1.1		
DC Current Transfer Ratio	h _{FE}	2	V _{CE} = 2 V, I _{OUT} = 350 mA	1000	—	—		
Input Current (Output On)	ULN2003A	3	V _{IN} = 2.4 V, I _{OUT} = 350 mA	—	0.4	0.7	mA	
	ULN2004A							V _{IN} = 9.5 V, I _{OUT} = 350 mA
Input Current (Output Off)	I _{IN (OFF)}	4	I _{OUT} = 500 μA, Ta = 85°C	50	65	—	μA	
Input Voltage (Output On)	ULN2003A	5	V _{CE} = 2 V h _{FE} = 800	I _{OUT} = 350 mA	—	—	2.6	V
				I _{OUT} = 200 mA	—	—	2.0	
	ULN2004A			I _{OUT} = 350 mA	—	—	4.7	
				I _{OUT} = 200 mA	—	—	4.4	
Clamp Diode Reverse Current	I _R	6	V _R = 50 V, Ta = 25°C	—	—	50	μA	
			V _R = 50 V, Ta = 85°C	—	—	100		
Clamp Diode Forward Voltage	V _F	7	I _F = 350 mA	—	—	2.0	V	
Input Capacitance	C _{IN}	—	—	—	15	—	pF	
Turn-On Delay	t _{ON}	8	V _{OUT} = 50 V, R _L = 125 Ω C _L = 15 pF	—	0.1	—	μs	
Turn-Off Delay	t _{OFF}	8	V _{OUT} = 50 V, R _L = 125 Ω C _L = 15 pF	—	0.2	—		

TEST CIRCUIT

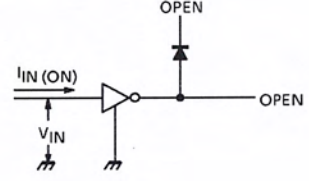
1. I_{CEX}



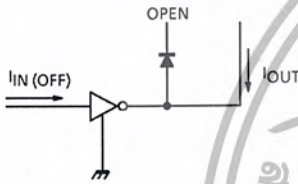
2. $V_{CE(sat)}$, h_{FE}



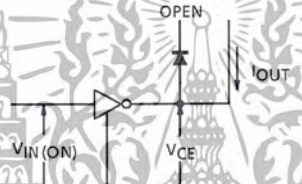
3. $I_{IN(ON)}$



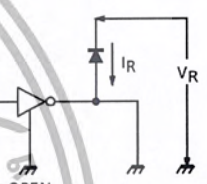
4. $I_{IN(OFF)}$



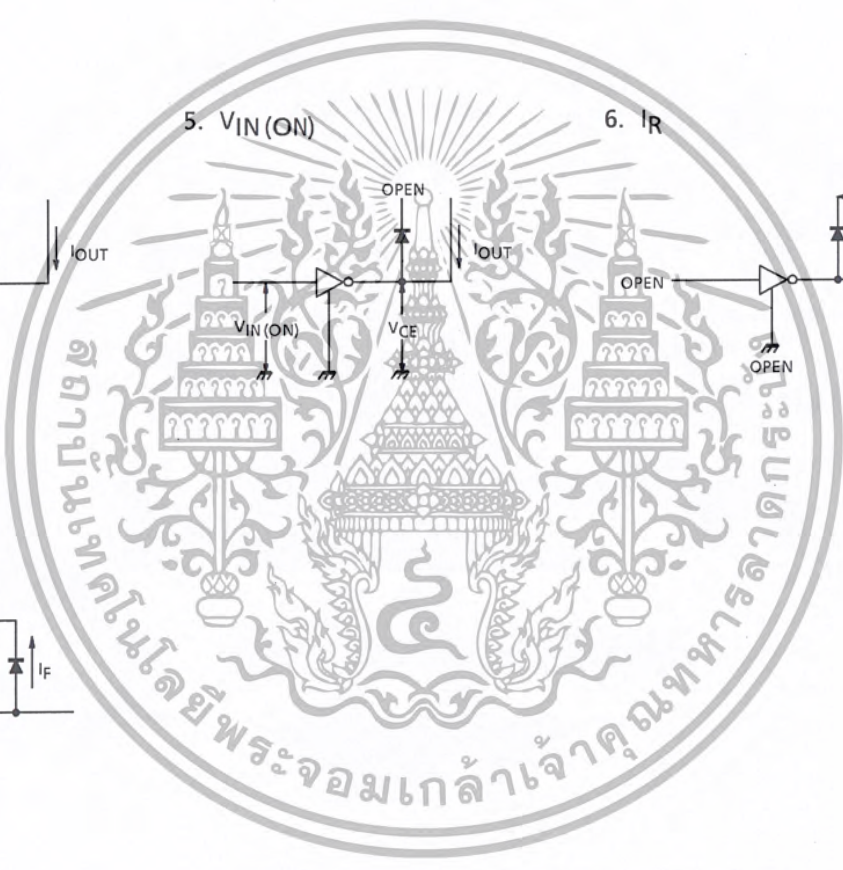
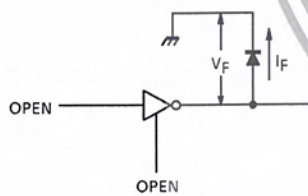
5. $V_{IN(ON)}$



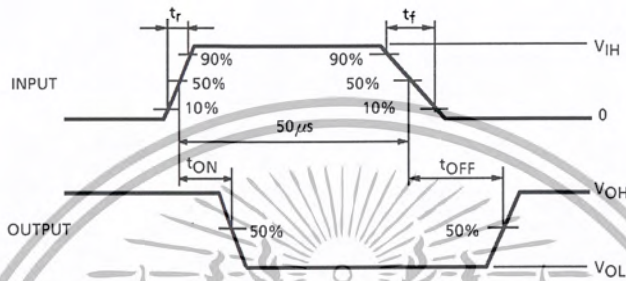
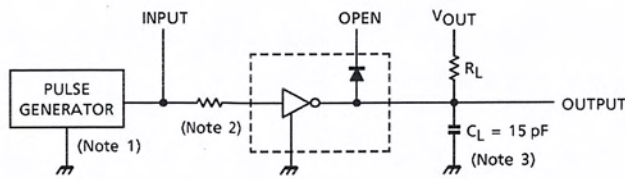
6. I_R



7. V_F



8. t_{ON} , t_{OFF}



(Note 1) : Pulse width $50 \mu s$, duty cycle 10%
Output impedance 50Ω , $t_r \leq 5 ns$, $t_f \leq 10 ns$

(Note 2) : See below

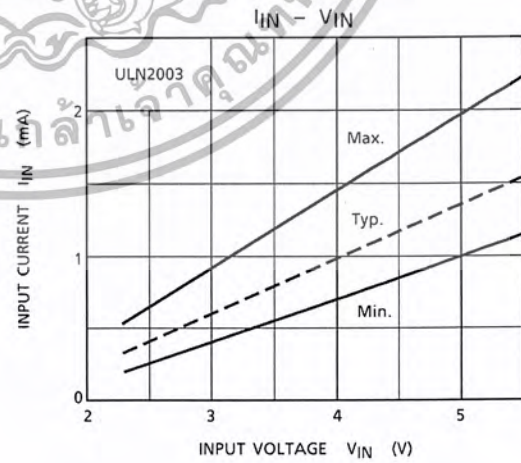
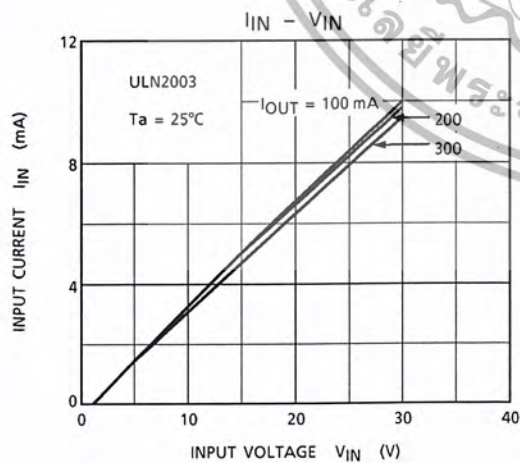
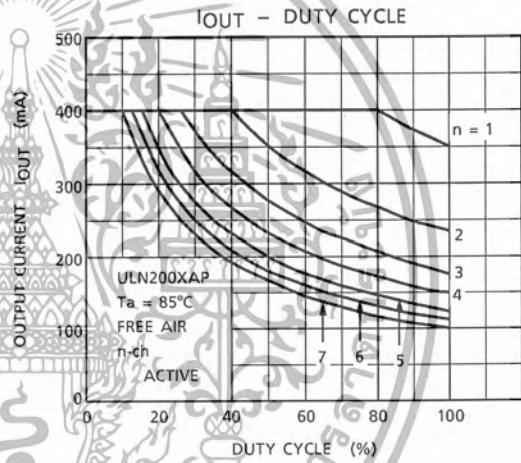
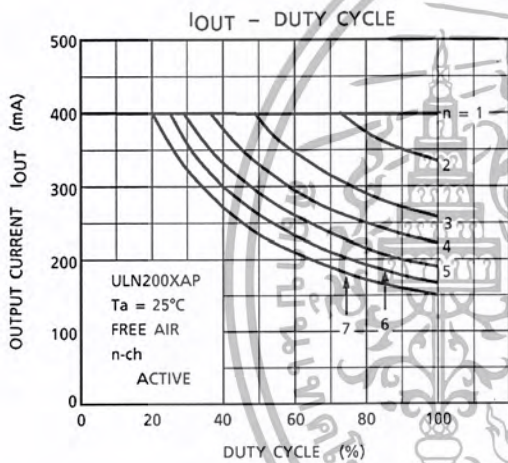
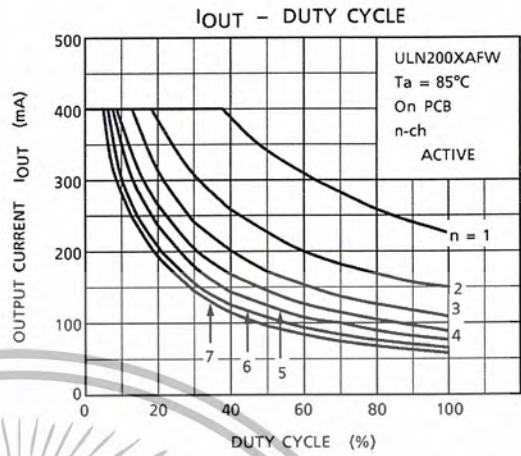
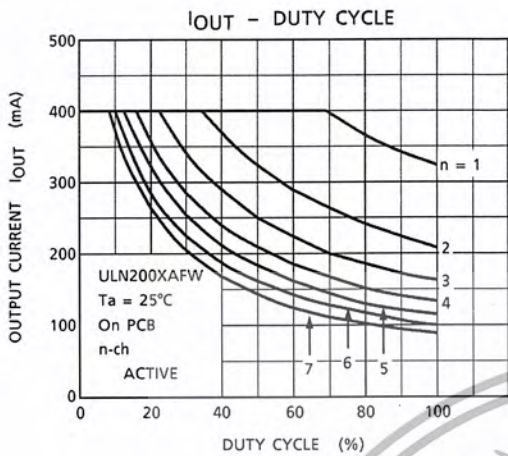
INPUT CONDITION

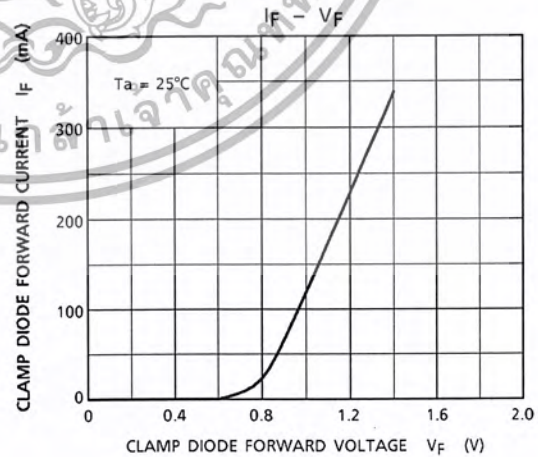
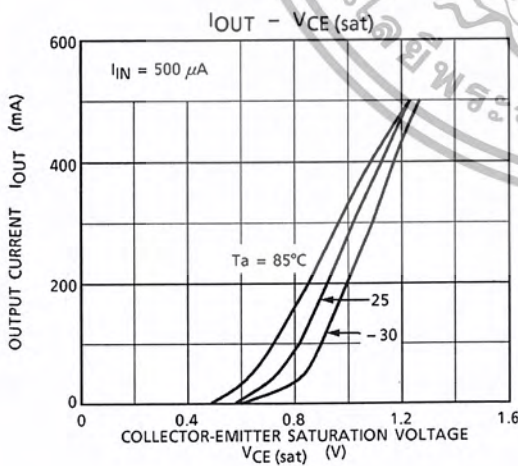
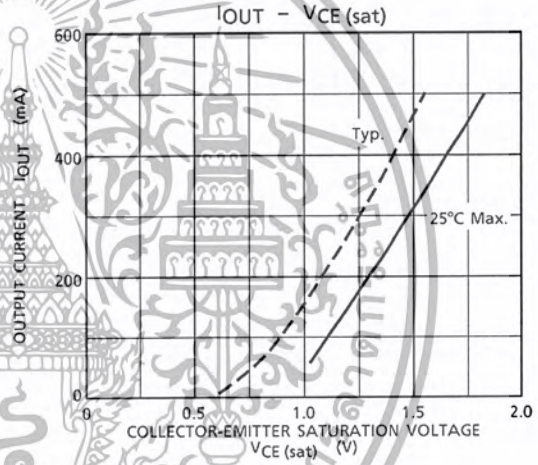
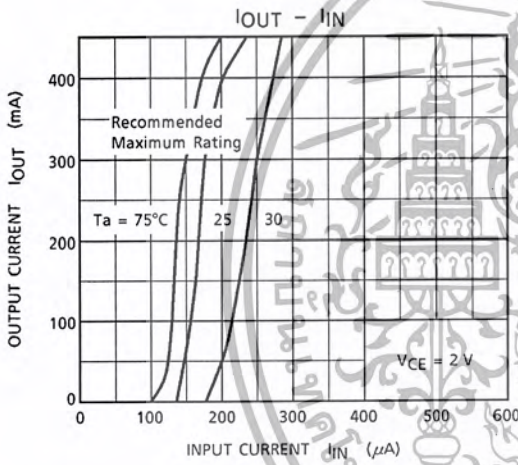
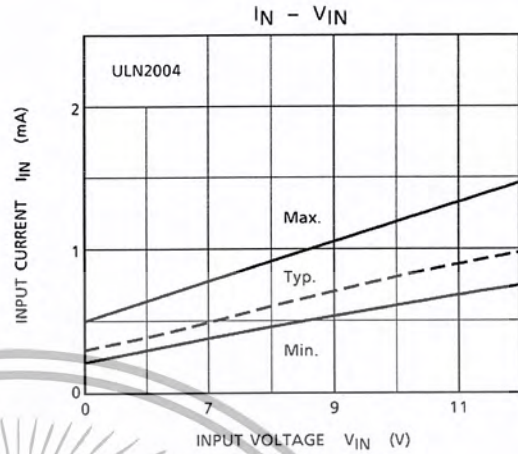
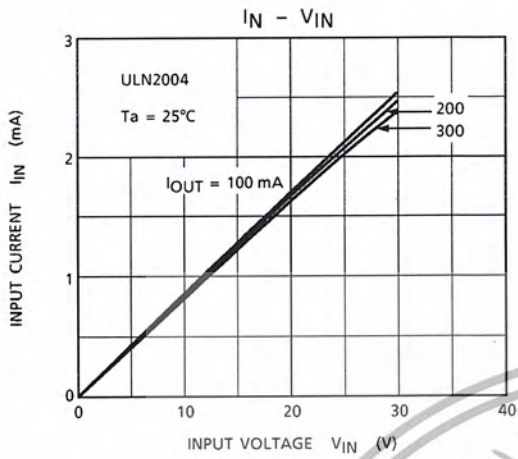
TYPE NUMBER	R1	VIH
ULN2003AP / AFW	0	3 V
ULN2004AP / AFW	0	8 V

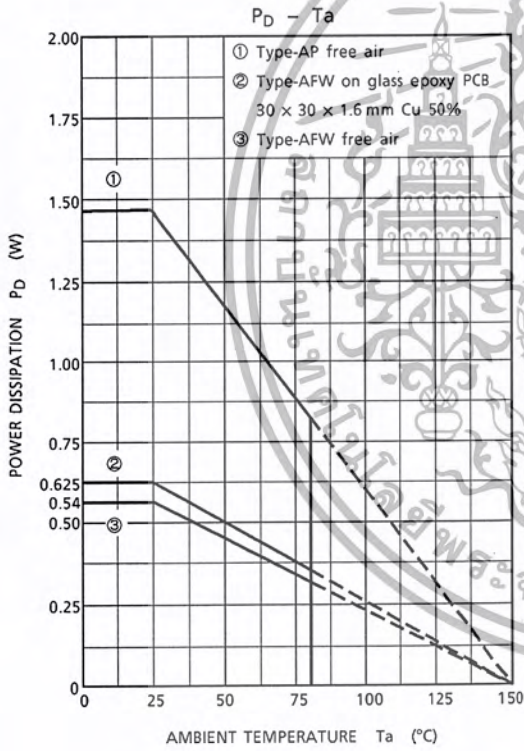
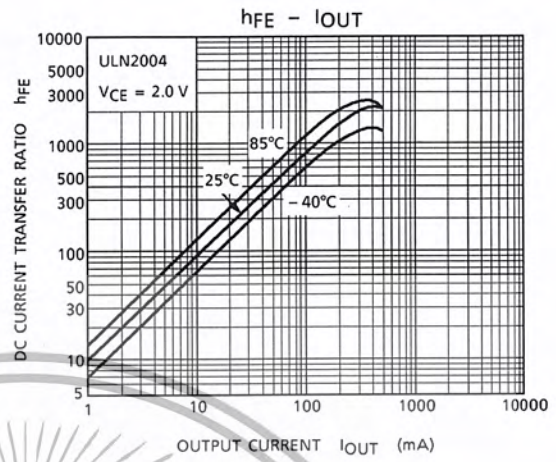
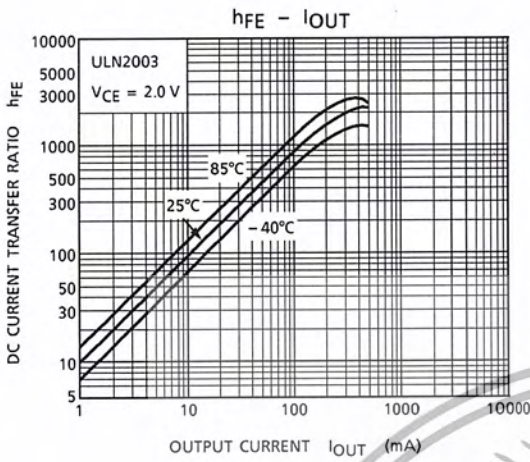
(Note 3) : C_L includes probe and jig capacitance.

PRECAUTIONS for USING

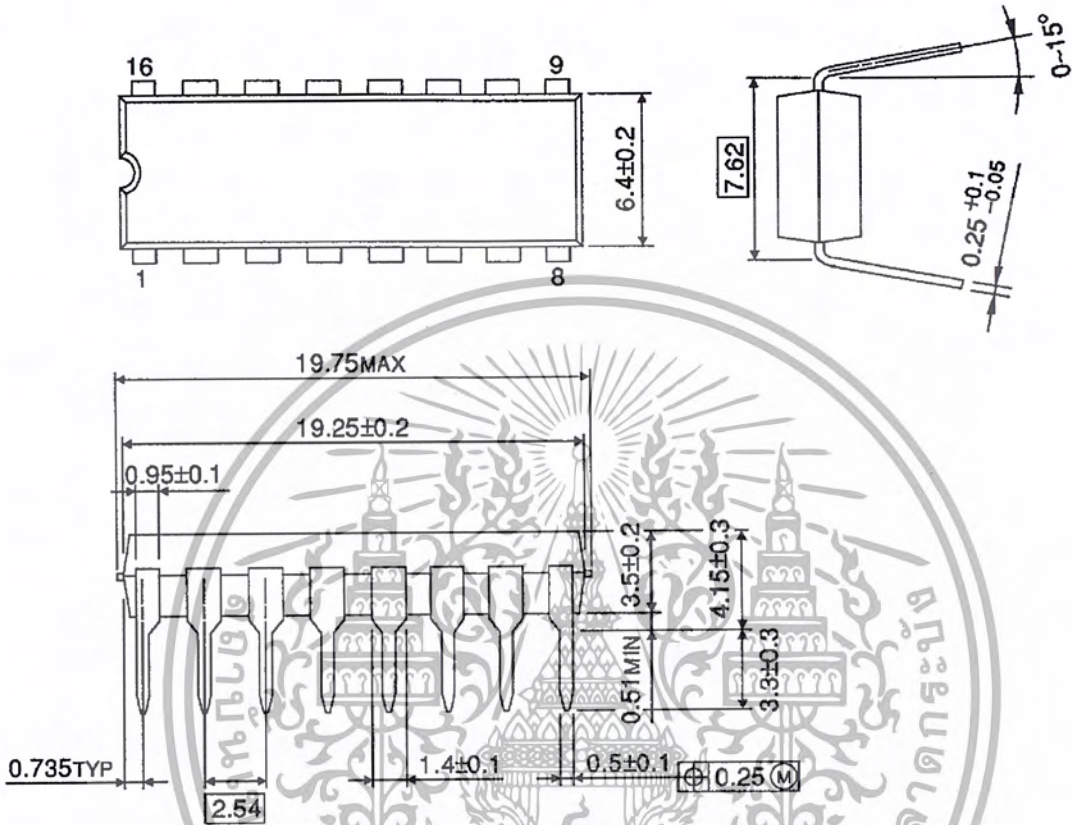
Utmost care is necessary in the design of the output line, COMMON and GND line since IC may be destroyed due to short-circuit between outputs, air contamination fault, or fault by improper grounding.







OUTLINE DRAWING
DIP16-P-300-2.54A



Weight : 1.11 g (Typ.)