บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัยและศึกษาพัฒนาระบบงานนี้ประกอบด้วย ระบบสีซีไออี แบบจำลองสีสำหรับกราฟิกแบบแรสเตอร์ การหาขอบเขตของวัตถุในภาพ การแปลงภาพสี 24 บิตเป็นภาพสี 256 สี การทำดิทเธอร์ (Dithering) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 <u>ระบบสีซีไออี</u> (CIE Color System) (Foley และคนอื่นๆ, 1992)

การรับรู้สีของมนุษย์นั้น จะกำหนดในรูปของสีสันหรือนามรงค์ (Hue) ความอิ่มตัวสี (Saturation) และความสว่างสี (Lightness) ซึ่งสีสันหมายถึงสีแต่ละสี เป็นการให้ชื่อสี เช่น สีแดง สีเขียว เป็นต้น ความอิ่มตัวสีคือความห่างของสีนั้นจากสีเทา สีที่มีความอิ่มตัวน้อยจะมีสีขาวปนอยู่มาก ส่วนความสว่างสีมี 2 แบบคือความสว่างสี (Lightness) ที่สะท้อนออกจากวัตถุ และความส่องสว่าง (Brightness) ของแหล่งกำเนิดแสง

ส่วนการกำหนดสีในเชิงปริมาณที่ศึกษาในวิชาการวัดสี (Colorimetry) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ จะกำหนดสีในรูปของความยาวคลื่นหลัก (Dominant Wavelength) ความบริสุทธิ์ของการกระตุ้น (Excitation Purity) และความส่องสว่าง (Luminance)

เราสามารถเปรียบเทียบค่าต่างๆที่เกี่ยวกับสีในแง่ของการรับรู้สีกับในวิชาการวัดสีได้ดังในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความยาวคลื่นหลักคือค่าของสีสัน ค่าความบริสุทธิ์ของการกระตุ้นคือค่าความอิ่มตัวสี และค่าความส่องสว่างก็คือค่าความสว่างสีนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคำศัพท์ที่เกี่ยวกับสีในวิชาการวัดสีและในการรับรู้สี

วิชาการวัดสี	การรับรู้สี
ความยาวคลื่นหลัก (Dominant Wavelength)	สีสัน (Hue)
ความบริสุทธิ์ของการกระตุ้น (Excitation Purity)	ความอิ่มตัวสี (Saturation)
ความส่องสว่าง (Luminance)	ความสว่างสี (Lightness)

ในปี ค.ศ.1931 มีการจัดตั้งคณะกรรมการมาตรฐานนานาชาติที่ชื่อว่า "คณะกรรมการระหว่างชาติว่าด้วยความสว่าง" (Commission Internationale de l'Eclairage) เรียกย่อๆว่า ซีไออี (CIE) ทำหน้าที่

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดมาตรฐานสี พัฒนาระบบการวัดสีให้เป็นมาตรฐานเดียวกันและออกแบบแผนภาพมาตรฐานที่ใช้อธิบายสีในแง่ของคุณสมบัติทางกายภาพของสี โดยพัฒนาเป็นปริภูมิสี CIE XYZ ซึ่งได้กำหนดแม่สีมาตรฐาน 3 สี คือแม่สี X แม่สี Y และแม่สี Z แล้วเขียนแทนสีใดๆด้วยพิกัดสี 3 มิติ (x,y,z) โดย x, y และ z เป็นสัดส่วนของแม่สี X, Y และ Z ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้ (Foley และคนอื่นๆ, 1992)

$$x = X / (X+Y+Z),$$
$$y = Y / (X+Y+Z),$$
$$z = Z / (X+Y+Z) \qquad \text{... (2.1)}$$

การกำหนดค่าสีใดๆด้วยพิกัดสี 3 มิติ ทำให้ยุ่งยากในการใช้งาน เราสามารถกำหนดค่าพิกัดสีเป็น 2 มิติได้ เนื่องจาก $x+y+z = 1$ เสมอ นั่นคือเรากำหนดเฉพาะสัดส่วนของแม่สี X และ Y ส่วนสัดส่วนของแม่สี Z นั้นสามารถหาได้จาก $z = 1-x-y$ นั่นเอง

ความยาวคลื่นหลักและความบริสุทธิ์ของการกระตุ้นจะหาได้จากแผนภาพซีไออีดังในรูปที่ 2.1 ซึ่งจากค่าทั้งสองนั้นทำให้เราทราบถึงค่าสีสันและค่าความอิ่มตัวของสีได้ เพราะค่าสีสันก็คือค่าความยาวคลื่นหลัก ส่วนความอิ่มตัวสีหาได้จากระยะจากสีใดๆถึงจุดสีขาว C ในรูป ถ้าอยู่ใกล้สีขาวมากก็จะมีความอิ่มตัวสีน้อย

เราสามารถใช้แผนภาพซีไออีในการหาค่าผลลัพธ์จากการผสมสีสองสีใดๆ ตัวอย่างดังในรูปที่ 2.1 ผสมสีเขียวที่จุด A (ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร) กับสีเหลืองที่จุด B (ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร) สีที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสองสีจะอยู่บนเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างสองสีนั้น ส่วนจะอยู่ตรงตำแหน่งใดขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสีที่นำมาผสมกัน ส่วนตัวอย่างการผสมสี 3 สีเข้าด้วยกันคือสี I, J และ K พิจารณาได้จากสามเหลี่ยม IJK ในรูปที่ 2.1 ซึ่งสีที่ได้จากการผสมสีทั้งสามจะอยู่ภายในสามเหลี่ยมนั้น

นอกจากนี้เรายังสามารถหาสีตรงข้าม (Complementary Color) ของสีใดๆได้จากแผนภาพสีซีไออี ซึ่งสีตรงข้ามก็คือคู่สีที่เมื่อผสมกันแล้วได้เป็นสีขาว จากรูปที่ 2.1 สามารถหาสีตรงข้ามของสีใดๆได้โดยลากเส้นตรงจากสีนั้นให้ผ่านจุดสีขาว C ไปยังด้านตรงข้ามก็จะพบสีที่เป็นสีตรงข้าม ตัวอย่างเช่นเมื่อลากเส้นตรงจากสีน้ำเงินที่จุด E (ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร) ผ่านจุดสีขาวไปยังด้านตรงข้ามจะพบกับสีเหลืองที่จุด F (ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร) นั่นคือสีเหลืองเป็นสีตรงข้ามของสีน้ำเงิน

ระบบสีซีไออีมีข้อจำกัดบางประการในเรื่องของระยะระหว่างสี ตัวอย่างเช่น สี C_1 มีพิกัดสีเป็น (X_1,Y_1,Z_1) และสี C_2 มีพิกัดสีเป็น (X_2,Y_2,Z_2) พิจารณาสีที่อยู่ห่างจากสี C_1 เป็นระยะทาง d จะเป็นสีใหม่ที่มีค่าเป็น C_1+d และสีที่อยู่ห่างจากสี C_2 เป็นระยะทาง d ก็จะมีค่าเป็น C_2+d ซึ่งไม่ถูกต้องในแง่การรับรู้ของตามนุษย์ เพราะเราจะไม่สามารถรับรู้ได้ว่าระยะดังกล่าวเท่ากัน ดังนั้นในปี ค.ศ.1976 คณะกรรมการระหว่าง

ชาติว่าด้วยความสว่าง จึงได้มีการออกแบบปริภูมิสีขึ้นมาใหม่ เพื่อเป็นการวัดความแตกต่างระหว่างสีโดยพิจารณาถึงความสว่างที่ตอบสนองต่อตาด้วย ในปี 1976 เรียกว่า ปริภูมิสี CIELUV (Thorell และ Smith, 1990) ดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะแสดงปริภูมิสี CIELUV เป็นภาพสามมิติ การอธิบายถึงปริภูมิสีนี้จะอ้างอิงกับแนวเส้น 3 เส้นที่ลากระหว่างคู่สีที่อยู่ในตำแหน่งตรงข้ามกันในปริภูมิสี คือ แนวเส้นที่ลากระหว่างสีแดงกับสีเขียว แนวเส้นที่ลากระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน และแนวเส้นที่ลากระหว่างสีดำกับสีขาว ถ้าให้จุดสีขาวคือ (X_n, Y_n, Z_n) ปริภูมิสี CIELUV สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
L^* &= 116\,(Y/Y_n)^{1/3}, \qquad Y/Y_n > 0.01 \\
u^* &= 13\,L^*\,(u' - u'_n), \\
v^* &= 13L^*\,(v' - v'_n), \\
u' &= 4X \,/\, (X+15Y+3Z), \\
v' &= 9Y \,/\, (X+15Y+3Z), \\
u'_n &= 4X_n \,/\, (X_n+15Y_n+3Z_n), \\
v'_n &= 9Y_n \,/\, (X_n+15Y_n+3Z_n).
\end{aligned} \qquad \ldots (2.2)
$$

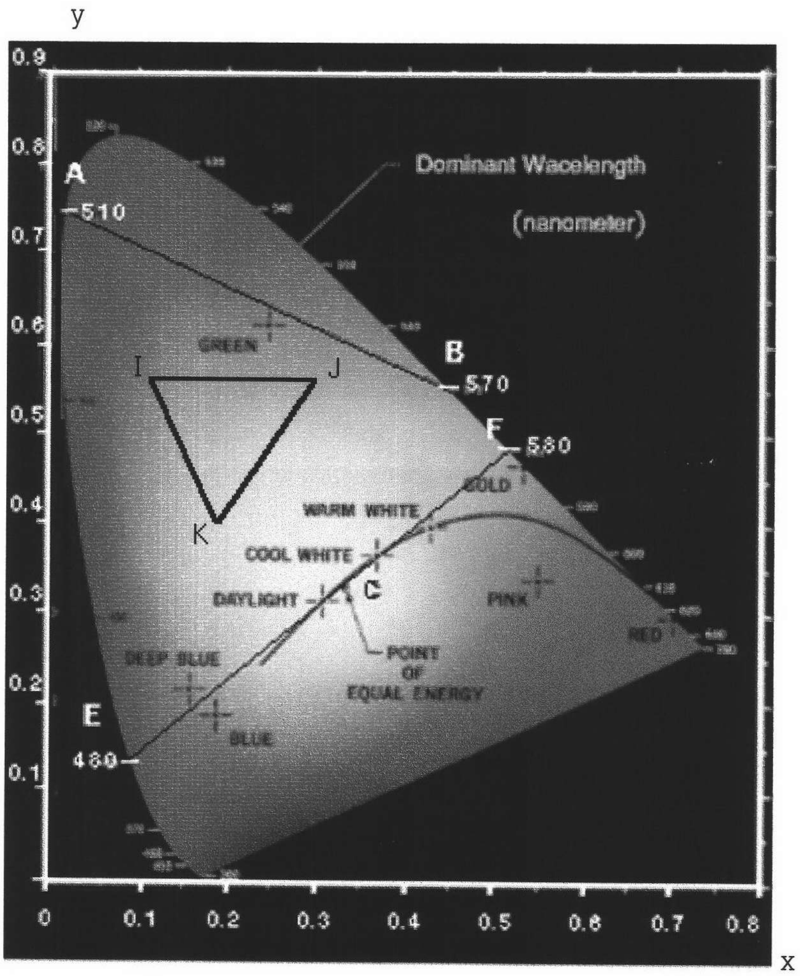
เมื่อ L^* เป็นค่าความสว่างที่อยู่บนแนวเส้นที่ลากระหว่างสีดำกับสีขาว กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100, u^* เป็นค่าที่อยู่บนแนวเส้นที่ลากระหว่างสีแดงกับสีเขียว ถ้าค่านี้เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง (Redness) และถ้าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว (Greenness) ส่วน v^* เป็นค่าที่อยู่บนแนวเส้นที่ลากระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน ถ้าค่านี้เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง (Yellowness) และถ้าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) ซึ่งค่า u', v', u'_n และ v'_n ได้จากการคำนวณดังสมการข้างบน และความสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาความแตกต่างระหว่างสี (Color Difference) หาได้จากสมการที่ (2.3)

$$\Delta E^*_{uv} = \left((\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2 \right)^{1/2} \qquad \ldots (2.3)$$

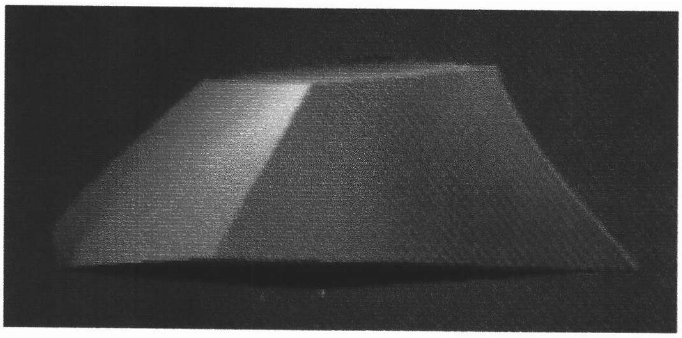
ปริภูมิสี CIELUV ใช้กับอุปกรณ์แสดงผล ซึ่งความสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาความแตกต่างระหว่างสีดังในสมการที่ 2.3 นั้นช่วยในการเลือกสีที่จะใช้แสดงผลเพื่อให้ได้เป็นสีที่ดูแล้วแตกต่างกัน โดยสีสองสีใดๆ จะต้องมีค่าความแตกต่างระหว่างสี (ΔE^*_{uv}) อย่างน้อย 40 หน่วย จึงจะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างสีสองสีนั้นได้

2.2 <u>แบบจำลองสีสำหรับกราฟิกแบบแรสเตอร์</u> (Foley และคนอื่นๆ, 1992)

แบบจำลองสี (Color Model) เป็นระบบคู่ลำดับ 3 มิติที่ใช้ในการกำหนดสีภายในช่วงสีที่มนุษย์สามารถมองเห็น แต่ไม่สามารถใช้กำหนดสีทุกสีที่มนุษย์มองเห็นได้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพซีไออี (Gonzalez และ Woods, 1992)



รูปที่ 2.2 แสดงปริภูมิสี CIELUV (Thorell และ Smith, 1990)

แบบจำลองสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์แสดงผลมี 3 แบบคือแบบจำลองสีอาร์จีบี (RGB Color Model) ใช้สำหรับจอภาพสีซีอาร์ที แบบจำลองสีวายไอคิว (YIQ Color Model) ใช้สำหรับระบบสีของโทรทัศน์ และแบบจำลองสีซีเอ็มวาย (CMY Color Model) ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่พิมพ์ภาพสี แต่ในแบบจำลองสีทั้งสามแบบนั้นไม่มีแบบจำลองสีแบบใดเลยที่สัมพันธ์โดยตรงกับสัญชาตญาณการรับรู้สีของมนุษย์ที่รับรู้สีในรูปของสีสัน

(Hue) ความอิ่มตัวสี (Saturation) และความเข้มแสง (Intensity) ดังนั้นจึงมีการออกแบบแบบจำลองสีอีกแบบหนึ่งที่สัมพันธ์โดยตรงกับสัญชาตญานการรับรู้สีของมนุษย์คือแบบจำลองสีเอชเอสไอ (HSI Color Model) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

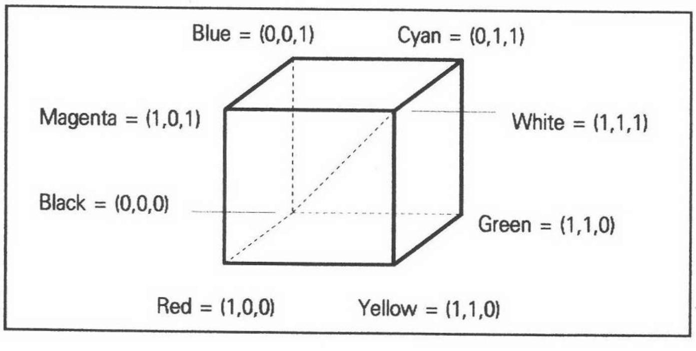
2.2.1 แบบจำลองสีอาร์จีบี (RGB Color Model)

แบบจำลองสีอาร์จีบี (R: Red, G: Green, B: Blue) ใช้สำหรับจอภาพซีอาร์ที ในแบบจำลองสีอาร์จีบีมีแม่สีหลักเรียกว่าแม่สีบวก (Additive Primaries) ได้แก่ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เมื่อนำแม่สีเหล่านี้มาผสมกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นสีต่างๆขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 เส้นทแยงมุมของลูกบาศก์ที่ลากระหว่างสีขาวกับสีดำจะหมายถึงสีเทาระดับต่างๆซึ่งมีสัดส่วนของแม่สีสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่มีค่าเท่ากัน โดยสีดำแทนด้วยคู่ลำดับ (0,0,0) และสีขาวแทนด้วยคู่ลำดับ (1,1,1) เราสามารถแปลงพิกัดสีในแบบจำลองสีอาร์จีบี เป็นพิกัดสีในแบบจำลองสีของซีไออีได้ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.4) (Pitas, 1993)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \ldots (2.4)$$

2.2.2 แบบจำลองสีซีเอ็มวาย (CMY Color Model)

แม่สีในแบบจำลองสีซีเอ็มวาย (C: สีเขียวอมน้ำเงิน (Cyan), M: สีม่วงแดง (Magenta), Y: สีเหลือง (Yellow)) จะเป็นสีตรงข้ามของแม่สีในแบบจำลองสีอาร์จีบี สีในแบบนี้จะถูกกำหนดโดยการหักลบสีออกจากแสงสีขาว จึงเรียกแม่สีในแบบจำลองนี้ว่าแม่สีลบ (Subtractive Primaries) ซึ่งได้แก่ สีเขียวอมน้ำเงิน สีม่วงแดงและสีเหลือง



รูปที่ 2.3 แสดงลูกบาศก์อาร์จีบีซึ่งสีเทาของแบบจำลองสีนี้จะอยู่บนเส้นทแยงมุมหลักจากจุดสีดำ (0,0,0) ไปยังจุดสีขาว (1,1,1)

แบบจำลองสีซีเอ็มวายใช้งานกับอุปกรณ์แสดงผลสำเนาถาวรที่ใช้การพิมพ์สารสี (Pigment) ลงบนกระดาษ เช่น พล็อตเตอร์แบบไฟฟ้าสถิต และพล็อตเตอร์แบบฉีดหมึก เมื่อผิวของกระดาษถูกปกคลุมด้วยหมึกสีเขียวอมน้ำเงิน ก็จะทำให้แสงสีแดงไม่สามารถสะท้อนออกมาได้ กล่าวได้ว่าสีเขียวอมน้ำเงินเป็นสีที่เกิดจากการหักลบแสงสีแดงออกจากแสงสีขาว ถ้าพิจารณาในแง่แม่สีบวกก็จะเห็นว่าสีเขียวอมน้ำเงินเกิดจากสีน้ำเงินผสมกับสีเขียว ในทำนองเดียวกัน สีม่วงแดงจะดูดกลืนสีเขียว ในแง่ของแม่สีบวกสีม่วงเกิดจากสีแดงผสมกับสีน้ำเงิน ส่วนสีเหลือง จะดูดกลืนสีน้ำเงิน ซึ่งในแง่ของแม่สีบวกสีเหลืองเกิดจากสีแดงผสมกับสีเขียวนั่นเอง ความสัมพันธ์เหล่านี้แสดงดังในรูปที่ 2.4 และเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

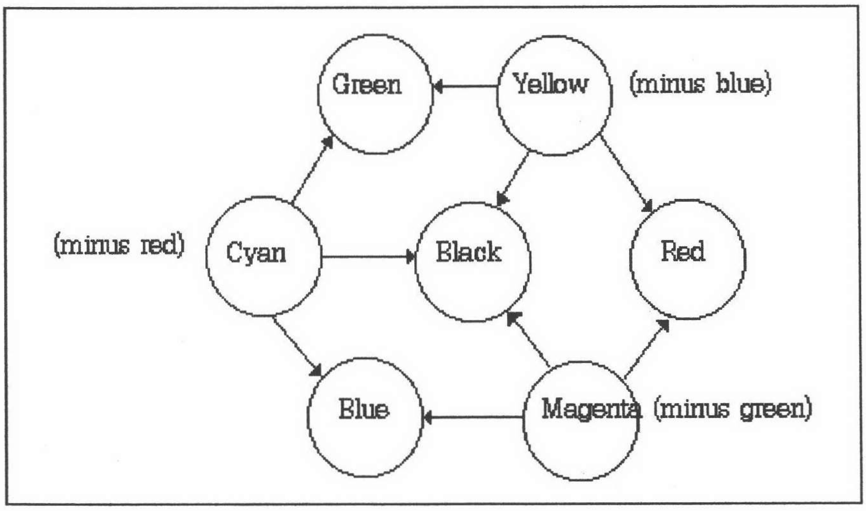
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \qquad \text{... (2.5)}$$

เวกเตอร์หลักหนึ่งหน่วยนั้น จะแทนสีขาวในแบบจำลองสีอาร์จีบีและแทนสีดำในแบบจำลองสีซีเอ็มวาย ส่วนการแปลงจากแบบจำลองสีซีเอ็มวายเป็นแบบจำลองสีอาร์จีบีเขียนได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} \qquad \text{... (2.6)}$$

Thorell และ Smith (1990) กล่าวถึงการพิมพ์ของอุปกรณ์แสดงผลสำเนาถาวรด้วยแม่สีลบเพียง 3 สีคือ สีเขียวอมน้ำเงิน สีม่วงแดง และสีเหลือง ว่าทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการพิมพ์สูงเนื่องจากในการพิมพ์สีดำจะต้องพิมพ์ด้วยแม่สีลบทั้งสามทำให้เปลืองหมึกที่ใช้เป็นแม่สีลบ และเสียเวลาในการพิมพ์ เนื่องจากการพิมพ์จุดที่เป็นสีดำต้องพิมพ์ถึงสามครั้ง จึงได้มีการออกแบบแบบจำลองสีอีกแบบหนึ่งคือแบบจำลองสีซีเอ็มวายเค (CMYK Color Model) (Foley และคนอื่นๆ, 1992) โดย K คือสีดำ แบบจำลองสีนี้ใช้ในกระบวนการพิมพ์ 4 สีและในอุปกรณ์แสดงผลสำเนาถาวรบางประเภท ในการกำหนดสีแบบนี้ สีดำ (K) จะได้จากการผสมสีเขียวอมน้ำเงิน (C) สีม่วง (M) และสีเหลือง (Y) ในปริมาณที่เท่ากัน ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.7) ดังนั้นในการพิมพ์สีดำก็ไม่จำเป็นต้องพิมพ์ด้วยแม่สีทั้งสามสีแต่จะใช้สีดำแทน ช่วยประหยัดแม่สีลบในการพิมพ์ทำให้ค่าใช้จ่ายในการพิมพ์น้อยลง ถ้าให้ C_1, M_1 และ Y_1 เป็นค่าสีเขียวอมน้ำเงิน สีม่วงแดงและสีเหลืองในแบบจำลองสีซีเอ็มวาย และ C_2, M_2, Y_2 และ K เป็นค่าสีเขียวอมน้ำเงิน สีม่วงแดง สีเหลืองและสีดำในแบบจำลองสีซีเอ็มวายเค

$$K = \min(C_1, M_1, Y_1)$$
$$C_2 = C_1 - K$$
$$M_2 = M_1 - K$$
$$Y_2 = Y_1 - K \qquad \text{... (2.7)}$$



รูปที่ 2.4 แสดงแม่สีลบ (Subtractive Primaries) คือสีเขียวอมน้ำเงิน สีม่วงแดง สีเหลืองและผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมแม่สีลบ ตัวอย่างเช่น สีเขียวอมน้ำเงินกับสีเหลืองผสมกันเป็นสีเขียว

2.2.3 <u>**แบบจำลองสีวายไอคิว**</u> (YIQ Color Model)

แบบจำลองสีวายไอคิวใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการเข้ารหัสสัญญาณอาร์จีบีใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณ และเพื่อให้ใช้สัญญาณได้ทั้งกับโทรทัศน์สีและขาวดำ องค์ประกอบ Y ไม่ได้หมายถึงสีเหลือง (Yellow) แต่เป็นความสว่าง ซึ่งเป็นค่าเดียวกับแม่สี Y ของซีไออี โทรทัศน์ขาวดำจะใช้เพียงองค์ประกอบ Y เท่านั้น ข้อมูลที่เกี่ยวกับสีจะอยู่ในองค์ประกอบ I และ Q แบบจำลองสีวายไอคิว จะใช้ระบบคู่ลำดับคาร์ทีเซียน 3 มิติ โดยเราสามารถเปลี่ยนสีในแบบจำลองสีอาร์จีบีให้เป็นสีในแบบจำลองสีวายไอคิวได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \qquad \text{... (2.8)}$$

ค่าตัวเลขในบรรทัดแรกแสดงให้เห็นน้ำหนักของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินที่มีต่อความส่องสว่าง (Y) จะเห็นว่า $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ สมการนี้มีประโยชน์ในการแปลงค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินให้เป็นค่าความสว่างซึ่งก็คือค่าระดับสีเทา ในการแปลงสีจากแบบจำลองสีวายไอคิวเป็นแบบจำลองสี

อาร์จีบีจะใช้เมตริกซ์ส่วนกลับกับสมการที่ (2.8) การใช้สีในแบบจำลองสีวายไอคิวจะช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาในกรณีที่สีสองสีที่มีค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินแตกต่างกัน ซึ่งจะมองเห็นเป็นสีที่แตกต่างกันบนจอภาพสีด้วย แต่เมื่อนำมาแสดงผลบนจอภาพขาวดำซึ่งใช้เพียงองค์ประกอบความสว่าง (Y) เท่านั้น อาจเกิดกรณีที่สีสองสีดังกล่าวนั้นมีค่าความสว่าง ค่าเดียวกัน จึงทำให้มองเห็นเป็นสีเดียวกันบนจอภาพขาวดำ ปัญหานี้หลีกเลี่ยงได้โดยการปรับค่าความสว่างของสีทั้งสองให้ต่างกันเมื่อนำมาแสดงผลบนจอภาพขาวดำ

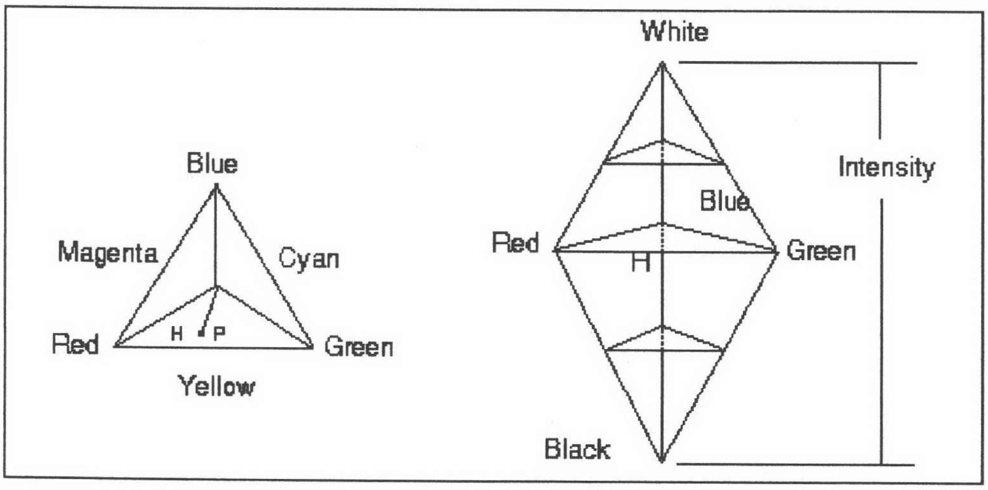
2.2.4 <u>แบบจำลองสีเอชเอสไอ</u> (HSI Color Model) (Gonzalez และ Woods, 1992)

แบบจำลองสีเอชเอสไอ (H: Hue, S: Saturation, I: Intensity) เป็นแบบจำลองสีที่นิยมใช้กันมาก เพราะสัมพันธ์กับพฤติกรรมการรับรู้สีของมนุษย์ รูปที่ 2.5 แสดงสามเหลี่ยมของแบบจำลองสีเอชเอสไอ เราสามารถแปลงค่าพิกัดสีในแบบจำลองสีอาร์จีบีให้เป็นแบบจำลองสีเอชเอสไอได้ เมื่อกำหนดให้ R, G และ B เป็นค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงสามเหลี่ยมของแบบจำลองสีเอชเอสไอ จุดตรงกลางสามเหลี่ยมคือสีขาว สามเหลี่ยมเอชเอสไอนี้ไม่ได้บอกถึงค่าความเข้มของสี แต่จะบอกถึงค่าสีสัน และความอิ่มตัวสีเท่านั้น ค่าความเข้ม (I) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.9) คือ

$$I = (R+G+B) / 3 \qquad \text{... (2.9)}$$

H เป็นค่าสีสัน ซึ่งเป็นค่ามุมระหว่างตำแหน่งของสีภายในสามเหลี่ยมเอชเอสไอกับเส้นที่ลากจากสีขาวมายังสีแดง หาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.10)

$$H = \arccos [(0.5 * ((R-G)+(R-B))) / ((R-G)^2 + (R-B)*(G-B))^{1/2}] \qquad \text{... (2.10)}$$



รูปที่ 2.5 แสดงสามเหลี่ยมของแบบจำลองสีเอชเอสไอ

ถ้า B/I มีค่ามากกว่า G/I ค่ามุม H จะมากกว่า 180 องศา เนื่องจาก arccos มีค่าในช่วง 0 ถึง 180 องศา ดังนั้น H จะมีค่าเป็น 360 - H องศา ส่วนค่าความอิ่มตัวสีกล่าวได้ว่าเป็นระยะห่างของสีจาก

จุดศูนย์กลางของสามเหลี่ยมเอชเอสไอ สีที่อยู่ที่ขอบนอกจะมีความอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ ค่าความอิ่มตัวสีหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.11)

$$S = 1 - ((3 / (R+G+B)) * \min (R,G,B)) \qquad \text{... (2.11)}$$

ส่วนการแปลงค่าพิกัดสีในแบบจำลองสีเอชเอสไอเป็นค่าพิกัดสีในแบบจำลองสีอาร์จีบีนั้น ถ้ากำหนดให้ r, g และ b เป็นสัดส่วนของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดย $r + g + b = 1$ โดยที่

$$r = R / (R+G+B),$$
$$g = G / (R+G+B),$$
$$b = B / (R+G+B) \qquad \text{... (2.12)}$$

สามารถแปลงค่าพิกัดสีในแบบจำลองสีเอชเอสไอเป็นค่าพิกัดสีในแบบจำลองสีอาร์จีบีได้ตามกรณีต่างๆดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ถ้า $0 < H <= 120$ องศา

$$r = (1/3) * (1 + S\cos H / \cos (60 - H))$$
$$b = (1/3) * (1-S)$$
$$g = 1 - (r+b) \qquad \text{... (2.13)}$$

กรณีที่ 2 ถ้า $120 < H <= 240$ องศา

$$H = H - 120$$
$$g = (1/3) * (1 + S\cos H / \cos (60 - H))$$
$$r = (1/3) * (1-S)$$
$$b = 1 - (r+g) \qquad \text{... (2.14)}$$

กรณีที่ 3 ถ้า $240 < H <= 360$ องศา

$$H = H - 240$$
$$b = (1/3) * (1 + S\cos H / \cos (60 - H))$$
$$g = (1/3) * (1-S)$$
$$r = 1 - (b+g) \qquad \text{... (2.15)}$$

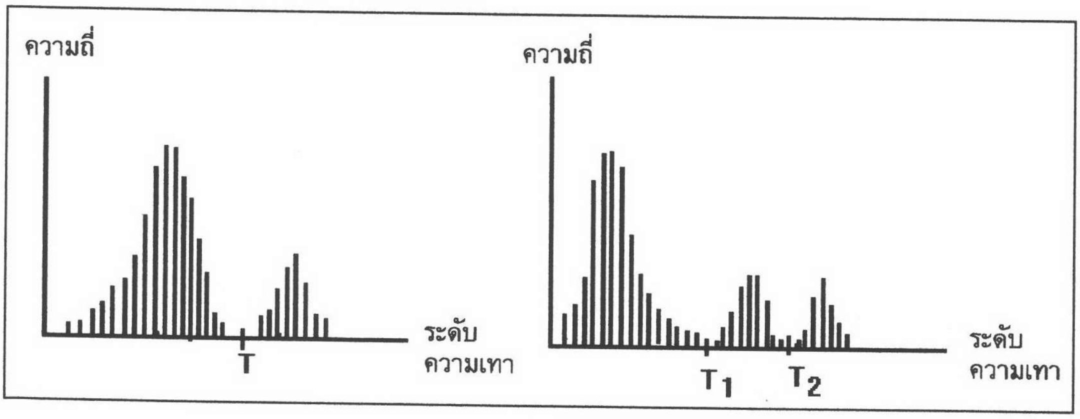
2.3 <u>การหาขอบเขตวัตถุในภาพ</u> (Gonzalez และ Woods, 1992)

เทคนิคการหาขอบเขตของวัตถุในภาพที่ใช้ในการวิจัยได้แก่การใช้ค่าขีดแบ่ง (Thresholding) และการเติบโตของขอบเขตโดยการรวบรวมจุดภาพ (Pixel Aggregation) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 <u>การใช้ค่าขีดแบ่ง</u>

การใช้ค่าขีดแบ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแบ่งส่วนขอบเขตของวัตถุในภาพ ตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.6(ก) แสดงฮิสโตแกรมระดับความเทาของภาพ f(x,y) ซึ่งประกอบด้วยภาพของวัตถุที่สว่างบนภาวะส่วนหลัง (Background) ที่มืด เราใช้ค่าขีดแบ่ง (Threshold, T) ในการแบ่งแยกภาวะ (Mode) ของวัตถุออกจากภาวะส่วนหลัง โดยกำหนดว่าจุด (x,y) ใดๆที่ $f(x,y) > T$ จะเป็นจุดภาพของวัตถุ ถ้าน้อยกว่า T จะเป็นภาวะส่วนหลัง

ส่วนรูปที่ 2.6 (ข) แสดงฮิสโตแกรมของภาพวัตถุสองอย่างบนภาวะส่วนหลัง จะเห็นว่ามีภาวะหลัก 3 ภาวะ เราจะใช้หลักการเดียวกันในการแบ่งแยกภาวะของจุด (x,y) คือถ้า $T_1 < f(x,y) <= T_2$ จะเป็นจุดภาพของวัตถุแรก ถ้า $f(x,y) > T_2$ ก็จะเป็นจุดภาพของวัตถุที่สอง และถ้า $f(x,y) <= T_1$ ก็จะเป็นจุดภาพของภาวะส่วนหลัง กรณีนี้เรียกว่าเป็นการใช้ค่าขีดแบ่งหลายระดับ (Multilevel Thresholding)



(ก) ค่าขีดแบ่งค่าเดียว (ข) ค่าขีดแบ่งหลายค่า

รูปที่ 2.6 แสดงฮิสโตแกรมระดับความเทา

2.3.2 <u>การเติบโตของขอบเขตโดยการรวบรวมจุดภาพ</u>

การเติบโตของขอบเขตเป็นกระบวนงาน (Procedure) ที่จัดกลุ่มของภาพหรือขอบเขตย่อยๆให้เป็นขอบเขตที่ใหญ่ขึ้น วิธีที่ง่ายที่สุดคือการรวบรวมจุดภาพ โดยเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งแล้วค่อยๆเติบโตออกไปรอบๆไปยังจุดที่มีคุณสมบัติเดียวกัน (เช่น ระดับความเทาเดียวกัน) กระบวนงานนี้อธิบายได้ดังในรูปที่ 2.7 (ก) ค่าตัวเลขในตารางแทนค่าระดับความเทา กำหนดให้จุดเริ่มต้นเป็น (3,2) สำหรับการหาขอบเขต R1 และ

R2 และถ้าค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างระดับความเทาของจุดภาพกับระดับความเทาของจุดภาพเริ่มต้นน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง (T) จุดภาพนั้นจะอยู่ในขอบเขต R1 และถ้ามากกว่าค่าขีดแบ่งจะอยู่ในขอบเขต R2 รูป 2.7 (ข) แสดงผลจากการใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 3 ผลที่ได้คือภาพประกอบด้วย 2 ขอบเขต โดยที่จุดภาพที่เป็นของขอบเขต R1 แทนด้วย a และจุดภาพที่เป็นของขอบเขต R2 แทนด้วย b ส่วนรูป 2.7 (ค) แสดงผลที่ได้จากการใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 8 ซึ่งจะได้ภาพเป็นขอบเขตเดียวกัน

0	0	5	6	7
1	1	5	8	7
0	**1**	6	7	7
2	0	7	6	6
0	1	5	6	5

(ก)

a	a	b	b	b
a	a	b	b	b
a	a	b	b	b
a	a	b	b	b
a	a	b	b	b

(ข)

a	a	a	a	a
a	a	a	a	a
a	a	a	a	a
a	a	a	a	a
a	a	a	a	a

(ค)

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการหาขอบเขตโดยการรวบรวมจุดภาพ

2.4 การแปลงภาพสี 24 บิตเป็นภาพ 256 สี

Rimmer (1992) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการแปลงภาพ 24 บิตให้เป็นภาพ 256 สีว่าประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอนคือการหาค่าตารางสีที่เหมาะสม 256 สี และการจับคู่ของจุดภาพเดิมให้ใกล้เคียงกับค่าในตารางสีมากที่สุด ซึ่งในการจับคู่สีให้ใกล้กับค่าในตารางสีมากที่สุดนั้นพิจารณาได้จากการหาระยะระหว่างสีสองสีที่มีค่าเป็น (r1,g1,b1) และ (r2,g2,b2) จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.16) โดย r1,g1,b1,r2,g2 และ b2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

$$\text{ระยะระหว่างสีสองสี} = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad \ldots (2.16)$$

ส่วนวิธีการสร้างตารางสี 256 สีนั้น Ezzel (1992) ได้กล่าวถึง 3 วิธีคือวิธีแรกเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยการสร้างตารางสีคงที่ 256 สีที่คิดว่าค่าในตารางสีมีช่วงค่าที่สามารถใช้ได้กับทุกภาพ แต่วิธีการนี้ก็ไม่ได้ตารางสีที่เหมาะกับทุกภาพจริง วิธีที่สองทำได้โดยการสร้างฮิสโตแกรมของค่าสีที่ใช้ทั้งภาพ จัดเรียงค่าสีตามลำดับของความถี่ในการใช้งานสีนั้น แล้วเลือกสี 256 สีที่มีการใช้งานมากที่สุด วิธีที่สามเริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมของค่าสีที่ใช้ทั้งภาพ แล้วพิจารณาค่าความแตกต่างของสีที่จะเลือกประกอบกับความถี่ในการใช้งานของสีนั้น ขั้นตอนแรกก่อนที่จะใช้วิธีการนี้ ให้พิจารณาถึงจำนวนสีที่แตกต่างกันเสียก่อน ถ้ามีน้อยกว่า 256 สี ให้นำสีทั้งหมดมาสร้างตารางสีได้ทันที แต่ถ้าจำนวนสีที่แตกต่างกันมีจำนวนน้อยกว่า 1 เท่าครึ่งของขนาดตารางสี ก็อาจใช้การเลือกแบบวิธีที่สอง แต่ถ้ามีจำนวนสีที่แตกต่างกันมากกว่า 1 เท่าครึ่งก็ควรจะสร้างตารางสีที่มีการกระจายมากขึ้นโดย

1. พิจารณาถึงความถี่ของแต่ละสี โดยจะมีการตัดสีที่มีความถี่ในการใช้งานน้อยออกไปก่อน ซึ่งเกณฑ์ที่จะใช้ขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละภาพ ตัวอย่างเช่นภาพที่มีจุดภาพจำนวน 200,000 จุด สำหรับสีที่มีความถี่ในการใช้งานเพียง 20 จุด ซึ่งคิดเป็น 0.01 เปอร์เซนต์ของจุดภาพทั้งหมด ก็ควรจะถูกตัดออกไปได้เลย โดยไม่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกสีอีกต่อไป

2. หลังจากตัดบางสีออกไปแล้วจะเหลือจำนวนสีน้อยลง ต้องเลือกค่าสีโดยพิจารณาระยะระหว่างสีสองสีดังสมการที่ (2.16) สีสองสีใดๆที่มีระยะใกล้กันก็อาจแทนด้วยสีเพียงสีเดียว

นอกจากการสร้างตารางสีจาก 3 วิธีการดังกล่าวแล้ว Prosise (1994) ได้กล่าวถึงวิธีการสร้างตารางสี 256 สีของ Paul Heckbert ที่เรียกว่า Median-Cut Algorithm ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดลูกบาศก์อาร์จีบีเริ่มต้นเป็นลูกบาศก์ 3 มิติที่มีแกนของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งแต่ละแกนมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังในรูปที่ 2.8 แล้วอ่านค่าสีของจุดภาพทุกจุดเพื่อสร้างฮิสโตแกรมของค่าสี จากฮิสโตแกรมนี้ทำให้ทราบความถี่ในการใช้งานหรือจำนวนจุดภาพที่ใช้สีนั้น

2. ตัดค่าสีที่อยู่ริมขอบรอบนอกซึ่งไม่ถูกใช้โดยจุดภาพใดๆเลยออกไป โดยพิจารณาทั้งสามแกน ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.9 ถ้าไม่มีจุดภาพใดที่มีค่าสีแดงน้อยกว่า 8 และไม่มีจุดภาพใดที่มีค่าสีแดงมากกว่า 250 จะตัดส่วนที่ค่าสีแดงเป็น 0 ถึง 7 และส่วนที่ค่าสีแดงเป็น 251 ถึง 255 ออกไป แล้วไม่นำมาพิจารณาเพื่อใช้สร้างตารางสีอีกต่อไป

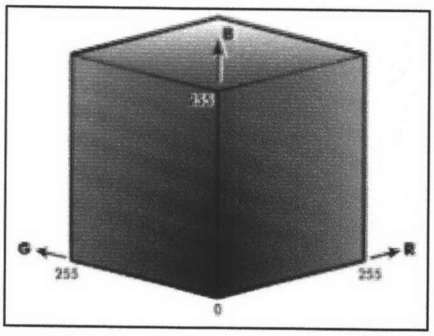
3. หาค่ามัธยฐานบนแกนที่ยาวที่สุด ตัวอย่างเช่น ถ้าแกนที่ยาวที่สุดเป็นสีน้ำเงิน จะหาค่ามัธยฐานบนแกนนี้ แล้วตัดลูกบาศก์ออกเป็นสองส่วนที่จุดนี้ดังในรูปที่ 2.10 จะได้ลูกบาศก์ย่อย 2 ลูกซึ่งแต่ละลูกมีจำนวนจุดภาพเท่ากัน

4. ทำขั้นตอนที่สองซ้ำ โดยตรวจดูว่าบริเวณริมขอบรอบนอกมีค่าสีใดบ้างที่ไม่ถูกใช้ ให้ตัดออกไปก่อน ไม่นำมาพิจารณาอีก เช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 2 หลังจากนั้นหาค่ามัธยฐานบนแกนที่ยาวที่สุดในแต่ละลูกบาศก์ย่อย แล้วแบ่งแต่ละลูกบาศก์นั้นเป็นสองส่วนก็จะได้ลูกบาศก์ย่อย 4 ลูกซึ่งแต่ละลูกจะมีจำนวนจุดภาพเท่ากันดังในรูปที่ 2.11

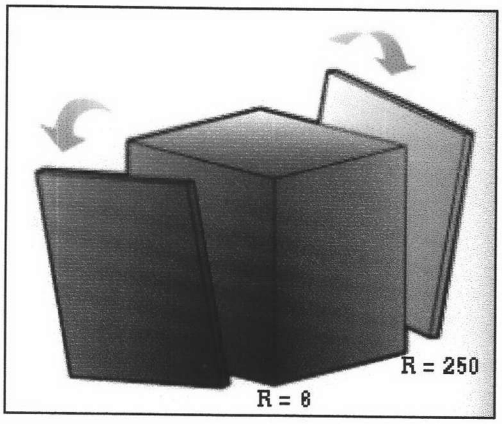
5. ทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำกับลูกบาศก์ย่อย จาก 4 ลูก กลายเป็น 8, 16, 32, 64, 128 และ 256 ลูกในที่สุด ดังในรูปที่ 2.12 โดยที่ลูกบาศก์ย่อยแต่ละลูกนั้นจะมีจำนวนจุดภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันที่สุด

6. เลือกสี 256 สีที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างตารางสี โดยการเลือกนั้นทำได้ 2 วิธีคือวิธีแรกเลือกจุดที่อยู่ตรงกลางดังในรูปที่ 2.12 โดยการนำจุดคู่ลำดับที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ย่อยมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนวิธีที่

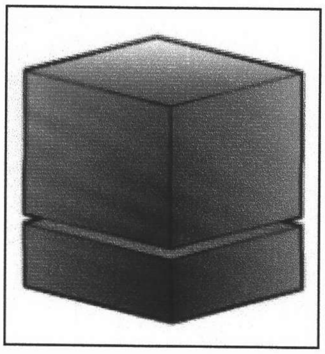
สองทำได้โดยนำค่าสีของจุดภาพทุกจุดในลูกบาศก์ย่อยนั้นมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธีแรก แต่ก็จะได้สีที่เหมาะสมกว่าด้วย



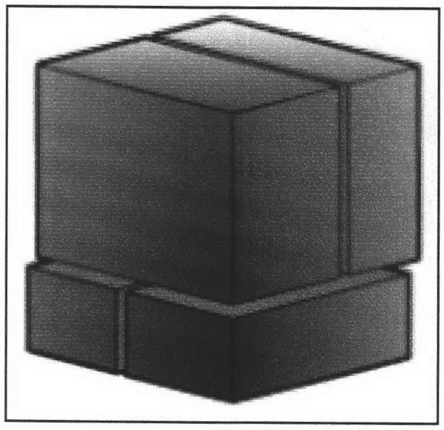
รูปที่ 2.8 แสดงลูกบาศก์อาร์จีบีเริ่มต้นที่นำมาใช้ใน Median-Cut Algorithm



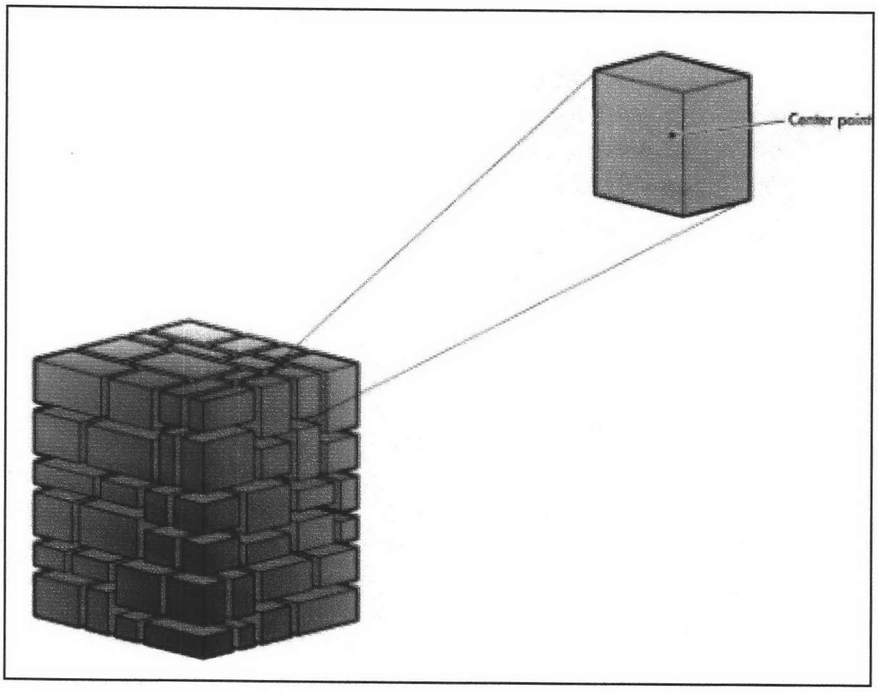
รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนหนึ่งของ Median-Cut Algorithm ซึ่งมีการตัดค่าสีที่อยู่ริมขอบรอบนอกออกไป



รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนหนึ่งของ Median-Cut Algorithm ที่มีการตัดลูกบาศก์ออกเป็นสองส่วนย่อยหลังจากที่มีการหาค่ามัธยฐานบนแกนที่ยาวที่สุด



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนหนึ่งของ Median-Cut Algorithm ที่มีการตัดลูกบาศก์ย่อยแต่ละลูกออกเป็นสองส่วนย่อยต่อไปอีก หลังจากที่มีการหาค่ามัธยฐานบนแกนที่ยาวที่สุดของลูกบาศก์ย่อยแต่ละลูก



รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนของ Median-Cut Algorithm ในการเลือกสีตัวแทนในลูกบาศก์ย่อย 256 ลูก เพื่อให้ได้สีที่เหมาะสม 256 สี

2.5 <u>การทำดิทเธอร์</u> (Dithering)

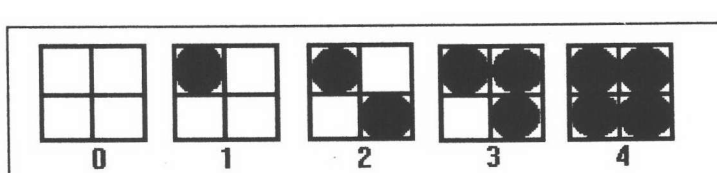
Luse (1993) กล่าวถึงการทำดิทเธอร์ว่าเป็นการเพิ่มระดับความเข้มแสงของอุปกรณ์แสดงผลให้แสดงได้หลายระดับมากขึ้น โดยอาศัยหลักการในเรื่องการรับรู้ภาพของตามนุษย์ที่ว่า เมื่อมองพื้นที่เล็กๆจากระยะที่ไกลพอสมควร ตาของมนุษย์จะประมาณรายละเอียดภายในพื้นที่เล็กๆนั้น และรับรู้เพียงความเข้มแสงโดยรวมของพื้นที่นั้น

ขั้นตอนวิธีของการทำดิทเธอร์มี 2 แบบคือ การทำดิทเธอร์แบบลำดับจุด (Dot-Ordered Dithering) และการทำดิทเธอร์แบบกระจายความผิดพลาด (Error-Diffusion Dithering) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 <u>การทำดิทเธอร์แบบลำดับจุด</u> (Dot-Ordered Dithering) (Foley และคนอื่นๆ, 1992)

เครื่องพิมพ์ที่สามารถแสดงผลได้เพียงสีขาวกับดำ สามารถทำให้แสดงผลเป็นระดับความเทาหลายระดับได้โดยการทำดิทเธอร์ ตัวอย่างเช่นแบ่งภาพขนาด 300 จุดต่อนิ้ว ให้เป็นส่วนเล็กๆเรียกว่าแพทเทิร์น (Pattern) ขนาด 2x2 หรือ 4x4 จุด แล้วพิมพ์ภาพนี้ออกทางเครื่องพิมพ์ด้วยการเซ็ตจุดในแต่ละส่วนเล็กๆนี้ให้เป็นสีดำด้วยจำนวนจุดและแพทเทิร์นที่แตกต่างกันไป จะทำให้เราเห็นภาพที่พิมพ์ออกมาเป็นภาพระดับความเทาแทนที่จะเป็นเพียงภาพขาวดำ

ขนาดของแพทเทิร์นจะเป็นตัวกำหนดจำนวนระดับความเทา ถ้าใช้แพทเทิร์นขนาด nxn จุด จะแสดงระดับความเทาได้ n^2+1 ระดับ ตัวอย่างเช่น แพทเทิร์นขนาด 2x2 จุด จะได้ระดับความเทาที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในการเลือกว่าจะใช้แพทเทิร์นขนาดเท่าใดเราจะต้องเลือกระหว่างความละเอียดของภาพกับจำนวนระดับความเทาที่จะได้ซึ่งจะแปรผกผันกัน ถ้าเราเลือกใช้แพทเทิร์นที่มีขนาดใหญ่เกินไป ตาของมนุษย์จะรับรู้ในรายละเอียดภายในแพทเทิร์นนั้น แทนที่จะรับรู้ภาพโดยรวม ตัวอย่างการใช้แพทเทิร์นขนาด 3x3 จุด จะลดความละเอียดของภาพในแต่ละแกนลง 1/3 แต่สามารถแสดงระดับความเทาได้ 10 ระดับ การที่จะเลือกใช้พื้นที่ขนาดใด ขึ้นอยู่กับความสามารถในการมองเห็นของตา ระยะที่ห่างจากภาพของผู้มอง และความละเอียดของอุปกรณ์แสดงผลกราฟิกที่ใช้ (จุดต่อนิ้ว)



รูปที่ 2.13 แสดงระดับความเทา 5 ระดับด้วยแพทเทิร์นขนาด 2x2 จุด

แพทเทิร์นที่ใช้สำหรับทำดิทเธอร์แบบลำดับจุดนั้นมี 2 แบบ คือดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกลุ่ม (Clustered-Dot-Ordered Dither Pattern) และดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกระจาย (Dispersed-Dot-Ordered Dither Pattern) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

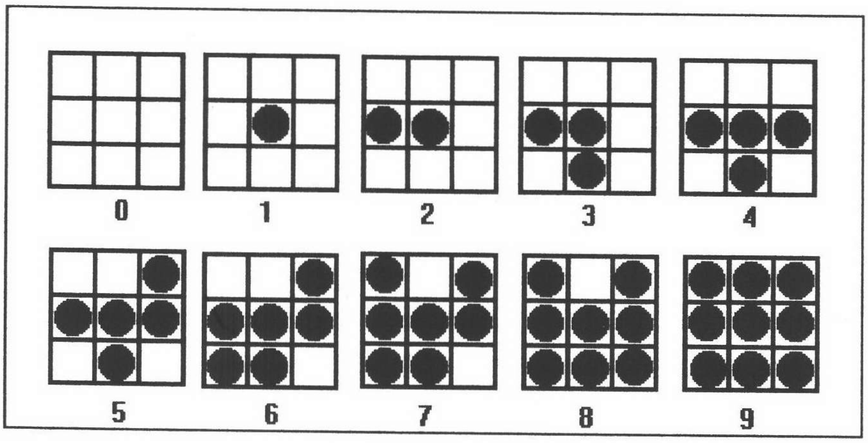
2.5.1.1 <u>ดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกลุ่ม</u> (Cluster-Dot-Ordered Dither Pattern)

ดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกลุ่ม (Foley และคนอื่นๆ, 1992) ใช้กับอุปกรณ์ที่แสดงผลเป็นจุดเดียวโดดๆไม่ได้ เช่น เครื่องพิมพ์เลเซอร์ เครื่องบันทึกฟิล์ม เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์เหล่านี้จุดที่แสดง

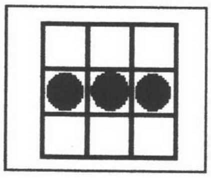
ระดับความเทาแต่ละระดับจะต้องอยู่ติดกันกับจุดอื่นเสมอ เป็นการวางจุดแบบกลุ่ม (Clustered-Dot) ตัวอย่างการวางจุดแบบกลุ่มของแพทเทิร์นขนาด 3x3 จุด แสดงได้ดังในรูปที่ 2.14 ซึ่งสามารถแทนตัวอย่างการวางจุดนั้นได้ด้วยดิทเธอร์เมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 6 & 8 & 4 \\ 1 & 0 & 3 \\ 5 & 2 & 7 \end{bmatrix}$$

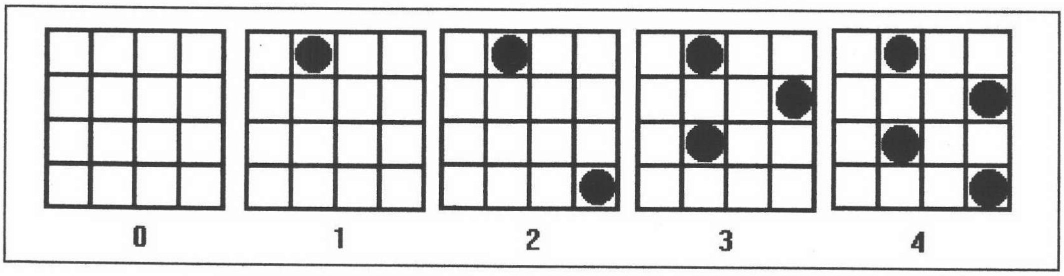
รูปแบบการวางจุดสำหรับการทำดิทเธอร์ลำดับจุดแบบกลุ่มมีข้อกำหนดบางประการ คือ ประการที่หนึ่ง ไม่ควรวางจุดในลักษณะที่ทำให้เกิดเส้นตรงขึ้น ตัวอย่างเช่นการวางจุดในรูปที่ 2.15 ก่อให้เกิดเป็นเส้นตรงตามแนวนอนในบริเวณที่ถูกแสดงด้วยระดับความเทาเท่ากับ 3 ประการที่สองรูปแบบการวางจุดจะต้องทำให้เกิดลำดับการเติบโตของระดับความเทาขึ้น เพื่อให้จุดทุกจุดของระดับความเทา j กลายเป็นจุดของระดับความเทา k เมื่อ $j < k$ ด้วย ตามข้อกำหนดนี้จะทำให้ความแตกต่างในการวางจุดของแต่ละระดับความเทามีน้อยที่สุด ประการที่สามรูปแบบการวางจุดต้องเริ่มจากจุดศูนย์กลางแล้วค่อยๆกระจายออกไปรอบนอก และประการสุดท้ายคือจุดแต่ละจุดที่แสดงผลต้องอยู่ติดกับจุดอื่นๆ ตัวอย่างในรูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบการวางจุดที่ไม่เหมาะสมสำหรับดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกลุ่มเพราะแต่ละจุดไม่อยู่ติดกัน



รูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบการวางจุดแบบกลุ่มของแพทเทิร์นขนาด 3x3 จุด



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างดิทเธอร์แพทเทิร์นขนาด 3x3 จุดที่ไม่ควรใช้



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างดิทเธอร์แพทเทิร์นขนาด 4x4 จุดที่มีจุดลอยอยู่โดดๆ ไม่ติดกัน ซึ่งไม่สามารถใช้สำหรับการทำดิทเธอร์ลำดับจุดแบบกลุ่มได้

2.5.1.2 <u>ดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกระจาย</u> (Dispersed-Dot-Ordered Dither Pattern)

Foley และคนอื่นๆ (1992) กล่าวถึงการใช้ดิทเธอร์แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกระจาย ว่าเหมาะสมกับอุปกรณ์แสดงผลที่แสดงจุดโดดๆได้ เช่น จอภาพซีอาร์ที การวางจุดภายในแพทเทิร์นสามารถกระจายได้ไม่จำเป็นต้องวางติดกันเป็นกลุ่ม การทำดิทเธอร์โดยใช้แพทเทิร์นลำดับจุดแบบกระจายนี้ เบเยอร์ (Bayer) ได้พัฒนาดิทเธอร์เมตริกซ์เป็นดังนี้

$$D^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{... (2.17)}$$

สำหรับดิทเธอร์เมตริกซ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถหาได้จากความสัมพันธ์แบบวนซ้ำเพื่อคำนวณหา $D^{(2n)}$ จาก $D^{(n)}$ โดยกำหนดให้ $U^{(n)}$ เป็นเมตริกซ์ขนาด nxn ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็น 1 และความสัมพันธ์แบบวนซ้ำดังกล่าวคือ

$$D^{(n)} = \begin{bmatrix} 4D^{(n/2)} + D^{(2)}_{00}U^{(n/2)} & 4D^{(n/2)} + D^{(2)}_{01}U^{(n/2)} \\ 4D^{(n/2)} + D^{(2)}_{10}U^{(n/2)} & 4D^{(n/2)} + D^{(2)}_{11}U^{(n/2)} \end{bmatrix} \quad \text{... (2.18)}$$

ซึ่งเมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้เพื่อหา $D^{(4)}$ จะได้เป็น

$$D^{(4)} = \begin{bmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{bmatrix} \quad \text{... (2.19)}$$

2.5.2 <u>การทำดิทเธอร์แบบกระจายความผิดพลาด</u> (Error-Diffusion Dithering)

การทำดิทเธอร์แบบกระจายความผิดพลาด พัฒนาขึ้นโดยฟลอยด์ (R.W.Floyd) และสไตน์เบิร์ก (L.Steinberg) ในปี ค.ศ.1975 โดยเทคนิคนี้ค่าความผิดพลาด (ความแตกต่างระหว่างค่าของจุดจริงบนภาพต้นฉบับกับค่าประมาณที่ใช้ในการแสดงผล) จะถูกบวกเข้ากับค่าของจุดทั้งสี่บนภาพที่ล้อมรอบอยู่ โดย 7/16 ของค่าความผิดพลาดจะถูกบวกให้กับจุดที่อยู่ทางขวา 3/16 ของค่าความผิดพลาดจะถูกบวกให้กับจุดที่อยู่มุมล่างซ้าย 5/16 ของค่าความผิดพลาดจะถูกบวกให้กับจุดที่อยู่ด้านล่าง และ 1/16 ของค่าความผิดพลาดจะถูกบวกให้กับจุดที่อยู่มุมล่างขวา

ถ้าให้ S เป็นภาพที่ต้องการนำออกแสดงด้วยเมตริกซ์ความเข้มแสง (Intensity Matrix) I โดยวิธีของ Floyd และ Steinberg ค่า S ที่จะนำออกแสดงสามารถคำนวณได้ดังนี้

K = Approximate(S[x,y]) // ประมาณ S ให้ใกล้เคียงที่สุดกับความเข้มแสงที่แสดง

I[x,y] = K // นำจุดออกแสดงที่ตำแหน่ง (x,y)

error = S[x,y] - K // ค่าความผิดพลาด

ขั้นที่ 1 : กระจาย 7/16 ของค่าความผิดพลาดให้กับจุดที่อยู่ทางขวาคือที่ตำแหน่ง (x+1,y)

$$S[x+1,y] = S[x+1,y] + 7 * error/16 \quad \text{... (2.20)}$$

ขั้นที่ 2 : กระจาย 3/16 ของค่าความผิดพลาดให้กับจุดที่อยู่มุมล่างซ้ายคือที่ตำแหน่ง (x-1,y-1)

$$S[x-1,y-1] = S[x-1,y-1] + 3 * error/16 \quad \text{... (2.21)}$$

ขั้นที่ 3 : กระจาย 5/16 ของค่าความผิดพลาดให้กับจุดที่อยู่ด้านล่างที่คือตำแหน่ง (x,y-1)

$$S[x,y-1] = S[x,y-1] + 5 * error/16 \quad \text{... (2.22)}$$

ขั้นที่ 4 : กระจาย 1/16 ของค่าความผิดพลาดให้กับจุดที่อยู่มุมล่างขวาคือที่ตำแหน่ง (x+1,y-1)

$$S[x+1,y-1] = S[x+1,y-1] + error/16 \quad \text{... (2.23)}$$

เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความเพี้ยนของภาพ ในการคำนวณเราต้องแน่ใจว่าผลรวมของค่าความผิดพลาดที่กระจายให้กับจุดทั้งสี่จะต้องเท่ากับค่าความผิดพลาดจริงโดยไม่มีการปัดเศษ ซึ่งสามารถทำได้โดยคำนวณในขั้นที่ 4 จากการหักลบค่าความผิดพลาดออกด้วยผลรวมของ 3 ส่วนแรก