

**Histogram Equalization** เป็นเทคนิคการปรับปรุงภาพที่ทำให้การกระจายตัวของระดับความเข้มแสง (intensity) ในภาพมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ส่งผลให้ภาพมีคอนทราสต์ที่ดีขึ้นและมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

**5 ขั้นตอนการคำนวณ**

ขั้นตอน	คำอธิบาย
1. สร้าง Histogram	นับความถี่ $h(k)$ ของแต่ละระดับความเข้ม $k$ โดยนับจำนวนพิกเซลที่มีค่า $k$ ในภาพทั้งหมด
2. คำนวณ Probability	หาความน่าจะเป็น $P(k) = h(k) / (M \times N)$ โดย $M \times N$ คือจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพ
3. คำนวณ CDF	หา Cumulative Distribution Function: $CDF(k) = \sum P(i)$ สำหรับ $i=0$ ถึง $k$ (รวมความน่าจะเป็นสะสม)
4. Transformation Function	คำนวณค่าใหม่ด้วยสูตร: $new(k) = \text{round}[(L-1) \times CDF(k)]$ โดย $L$ คือจำนวน gray levels
5. Apply Mapping	นำค่าที่คำนวณได้ไปแทนที่ในภาพต้นฉบับ แปลงทุกพิกเซลตามตาราง mapping

**สูตรทางคณิตศาสตร์**

- 1. Histogram:  $h(k)$  = จำนวนพิกเซลที่มีค่า  $k$
- 2. Probability:  $P(k) = h(k) / n$  โดย  $n = M \times N$
- 3. CDF:  $CDF(k) = \sum P(i)$  จาก  $i=0$  ถึง  $k$
- 4. Transformation:  $s(k) = \text{round}[(L-1) \times CDF(k)]$

**ตัวอย่างการคำนวณ (5×5 pixels, 3-bit)**  
ข้อมูลเริ่มต้น: [5,3,1,0,1,0,2,1,0,5,1,5,0,1,2,4,2,6,2,1,6,2,0,1,5]

ขนาดภาพ: 5×5 = 25 pixels, Bit depth: 3 bits (0-7), Gray levels: 8

k	h(k)	P(k)	CDF(k)	new(k)
0	5	0.20	0.20	1
1	7	0.28	0.48	3
2	5	0.20	0.68	5
3	1	0.04	0.72	5
4	1	0.04	0.76	5
5	4	0.16	0.92	6
6	2	0.08	1.00	7
7	0	0.00	1.00	7

## ผลลัพธ์

Mapping Table: 0→1, 1→3, 2→5, 3→5, 4→5, 5→6, 6→7

คุณสมบัติ	ค่า
ภาพต้นฉบับ	Min: 0, Max: 6, Mean: 2.20, Std: 2.04
ภาพหลัง Equalization	Min: 1, Max: 7, Mean: 4.52, Std: 1.83

1. จัดเก็บและประมวลผลข้อมูลภาพในรูป array 2 มิติ (5×5)
2. ใช้ loop นับความถี่ของแต่ละค่า intensity: `histogram[pixel_value] += 1`
3. หาค่าด้วยจำนวนพิกเซลทั้งหมดและใช้ `np.cumsum()` คำนวณ CDF
4. ใช้สูตร `np.round((L-1) * cdf).astype(int)` สร้าง mapping table
5. ใช้ list comprehension แปลงค่าทุกพิกเซล: `[new_values[pixel] for pixel in original_data]`
6. ใช้ matplotlib สร้างกราฟ 6 แผง แสดงภาพต้นฉบับ, histogram, CDF, ภาพผลลัพธ์, histogram ใหม่, และ transformation function

## ข้อดีของ Histogram Equalization

- เพิ่มคอนทราสต์โดยรวมของภาพ
- ทำให้รายละเอียดในพื้นที่มืดและสว่างชัดเจนขึ้น
- กระจายการใช้ gray levels ให้เต็มช่วง
- เหมาะกับภาพที่มีคอนทราสต์ต่ำ
- คำนวณง่ายและรวดเร็ว
- ใช้ได้ทั้งภาพขาวดำและภาพสี (แยก channel)

## ข้อจำกัด

- อาจเพิ่มสัญญาณรบกวนในพื้นที่เรียบ
- ไม่เหมาะกับภาพที่มีคอนทราสต์สูงอยู่แล้ว
- อาจทำให้ภาพดูไม่เป็นธรรมชาติ
- ไม่สามารถควบคุมการปรับแต่งในพื้นที่เฉพาะได้