

ผลกระทบของค่าขีดแบ่งและความส่องสว่างที่มีต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์

กฤตชัย บุญศิวนนท์ วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล และนิวัตร อังควิศิฐพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,

อำเภอกันทรวิชัย, จังหวัดมหาสารคาม 44150, E-mail: wor_nui@yahoo.com

บทคัดย่อ

ไลบรารี ARToolkit เป็นไลบรารีที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันต่างๆ ของเทคโนโลยีเออาร์ (Augmented Reality : AR) ซึ่งอาศัยพื้นฐานการติดตามด้วยเครื่องหมายเออาร์ และใช้เทคนิคการทำค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการ วิเคราะห์ เข้มรหัสภาพ และติดตามเครื่องหมายเออาร์ อย่างไรก็ตาม ไลบรารีนี้ใช้ค่าขีดแบ่งชนิดคงที่ จึงสามารถติดตามเครื่องหมายได้ดีเฉพาะในกรณีที่มีความส่องสว่างคงที่เท่านั้น แต่ไม่สามารถติดตามเครื่องหมาย และประมวลผลได้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง เนื่องจากค่าขีดแบ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง ด้วยสาเหตุข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่างที่มีต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์ โดยนำตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐานของไลบรารี ARToolkit ชนิดเครื่องหมายเออาร์เดี่ยว (Single Marker) จำนวน 4 ตัวอย่าง นำมาทดลองปรับการทำค่าขีดแบ่งภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่าง โดยแบ่งความส่องสว่างออกเป็น 3 ช่วง และวัดความผิดพลาดของการติดตามในขณะที่ทำงานด้วย อัตราความเร็วของข้อมูลวิดีโอที่ 300 เฟรม ด้วยโปรแกรมทดสอบการติดตามเครื่องหมายเออาร์ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ และการเขียนโปรแกรมอ้างอิงไลบรารี ARToolkit ซึ่งในการทดลองค่าขีดแบ่งใช้วิธีการแบบ Global Thresholding และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งและความส่องสว่าง ผลจากการทดลองพบว่า ค่าขีดแบ่งมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกับความส่องสว่าง โดยมีความส่องสว่างต่ำสุดที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ เท่ากับ 15 ลักซ์ และความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 300 ลักซ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งในช่วงที่ 1 เท่ากับ 169.88 ในช่วงที่ 2 เท่ากับ 140.5 ในช่วงที่ 3 เท่ากับ 51.63 และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งทั้งหมด 3 ช่วง เท่ากับ 120.67 และการวิเคราะห์ผลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่งและความส่องสว่างพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งที่ใช้ความส่องสว่างทั้ง 3 ช่วง ทุกคู่ ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปปรับค่าขีดแบ่งให้มีความเหมาะสมกับความส่องสว่าง แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่างก็ตาม ซึ่งส่งผลต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น และทำให้การติดตามมีความต่อเนื่อง รวมทั้งยังทำให้ประมวลผลได้สมบูรณ์อีกด้วย

คำสำคัญ ค่าขีดแบ่ง, ความส่องสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลง, การติดตามเครื่องหมายเออาร์, เทคโนโลยีเออาร์

1. บทนำ

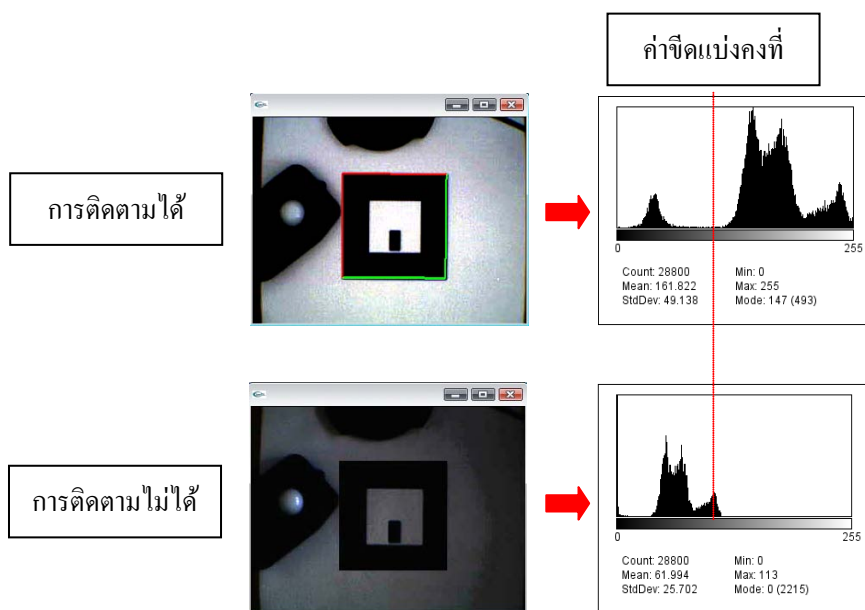
เทคโนโลยีเออาร์ (Augmented Reality: AR)[1-3] มีความสามารถในการแสดงกราฟิกจำลองเสมือนจริงที่มีลักษณะ 3 มิติผสมซ้อนทับกับสภาพแวดล้อมจริง โดยการใช้เทคนิคการแสดงวิดีโอทัศน์ในรูปแบบการส่งข้อมูลสัญญาณวิดีโอแบบต่อเนื่อง ชนิดสัญญาณวิดีโอทันกาล (Live-video Streams) และเทคนิคการทำค่าขีดแบ่ง ในการติดตามตำแหน่งของกล้องกับเครื่องหมายเออาร์ เพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งในการสร้างกราฟิกเสมือนจริง โดยเทคโนโลยีนี้สามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม จึงได้มีการนำไปศึกษา และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ไลบรารี ARToolkit [4] เป็นไลบรารีที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันต่างๆ ของเทคโนโลยีเออาร์ ใช้พื้นฐานการติดตามด้วยเครื่องหมายเออาร์ (Marker Tracking Base) ซึ่งอาศัยเทคนิควิธีการแสดงวิดีโอทัศน์ (Computer Vision) และกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) คือ การทำค่าขีดแบ่ง (Thresholding) เพื่อใช้ในการรู้จำ เข้ารหัสภาพ และการติดตามเครื่องหมายเออาร์ รวมทั้งใช้ในการคำนวณตำแหน่งของกล้องกับเครื่องหมายเออาร์ นอกจากนี้ไลบรารี ARToolKit ยังเป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่เข้ารหัสภาพ (Binarizes) ให้เป็นข้อมูลรหัสทวิภาค โดยทำการเข้ารหัสจากภาพสีมาเป็นภาพขาวดำด้วยการใช้เทคนิคขีดแบ่งแบบค่าคงที่ (Fixed Thresholding) ในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ จึงทำให้ไลบรารีนี้ทำงานได้รวดเร็วและสามารถติดตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีความส่องสว่างไม่คงที่ จะทำให้ผลที่ได้จากการทำงานของไลบรารีนี้ยังไม่น่าเชื่อถือ [5]

การรู้จำ เข้ารหัสภาพ และการติดตามเครื่องหมายเออาร์ จึงนับได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญของเทคโนโลยีเออาร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการ ใช้พื้นฐานการติดตามด้วยเครื่องหมายเออาร์ จึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เช่น การศึกษา ความแม่นยำในการติดตามด้วยการใช้อุปกรณ์แสดงผลชนิดสวมใส่ HMD [6] โดยทำการศึกษาในประเด็นขนาด และความลาดเอียงของเครื่องหมายเออาร์ โดยใช้ไลบรารี ARToolkit ผลจากการทดลองพบว่า ระยะทางที่ได้แปรผันตามขนาดของเครื่องหมาย และความลาดเอียงที่มีผลในการติดตาม ตั้งแต่มุม 0° ถึง 85° ในขณะที่ระยะทาง และมุมที่เกิดความผิดพลาดมากที่สุดในการติดตาม คือ ระยะทาง 50 เซนติเมตร และมุม 60° รวมทั้งในการศึกษา และพัฒนาวิธีการปรับปรุงการติดตาม เพื่อแก้ไขปัญหาในการติดตามจากผลกระทบจากแสงสะท้อน (Reflection) บนพื้นผิวของเครื่องหมายเออาร์ [8] โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการติดตามกับวิธีการมาตรฐานของไลบรารี ARToolkit ผลจากการทดลอง พบว่าวิธีการปรับปรุงข้างต้นส่งผลให้การติดตามดีขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดแสงสะท้อนบนพื้นผิวเครื่องหมายเออาร์ก็ตาม และในการศึกษา และพัฒนาเทคนิควิธีการในการติดตามเครื่องหมายเออาร์ของไลบรารี ARTag ชนิดหลายเครื่องหมาย (Multi Marker) [9] โดยอาศัยการปรับปรุงการติดตามด้วยเทคนิคการหาเส้นขอบรูปภาพ (Edge Detection) เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการติดตาม ผลจากการทดลองพบว่า เทคนิควิธีการดังกล่าว มีประสิทธิภาพดีขึ้น รวมทั้งมีประสิทธิผลดีกว่าไลบรารีของ ARToolkitPlus นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์ภาพ [10] โดยในการทดลองได้สร้างเครื่องหมายเออาร์ใหม่ขึ้นมา และทำการกำหนดระเบียบวิธีการใหม่เพื่อใช้

ในการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมาย โดยพัฒนาอัลกอริทึมในการวิเคราะห์ และระบุคุณลักษณะของเครื่องหมาย เออาร์ (Identification Marker) ซึ่งนำมาทดลองวิเคราะห์ภาพเปรียบเทียบการเข้ารหัสภาพกับไลบรารี ARToolkit รวมทั้งยังทดลองภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง ผลการทดลองพบว่า เครื่องหมาย และอัลกอริทึมดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานในการติดตามได้ รวดเร็วเพิ่มขึ้นมากกว่าไลบรารี ARToolkit แม้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างก็ตาม ในขณะที่ ไลบรารี ARToolkit พบว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นในระหว่างการทำงานภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลง ของแสงสว่าง

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดความผิดพลาดในการติดตาม และการประมวลผล เกี่ยวข้องกับข้อจำกัด และปัจจัยต่างๆ ของไลบรารี ARToolkit นอกจากนี้ยังพบว่า ใน ประเด็นการติดตามภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่างก็ เป็นสาเหตุ ที่สำคัญอีก หนึ่ง สาเหตุ ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการติดตามด้วยเช่นกัน เนื่องจากการทำค่าขีดแบ่งจะพิจารณาจาก ค่ากราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram) ซึ่งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง ค่ากราฟแสดง ค่าความถี่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในขณะที่ไลบรารี ARToolkit ใช้ค่าขีดแบ่งชนิดคงที่ จึงไม่สามารถปรับ ค่าขีดแบ่งตามกราฟแสดงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงได้ จึงส่งผลให้ไม่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ และ ประมวลผลได้ตามลำดับ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของค่ากราฟแสดงค่าความถี่ และความส่องสว่าง

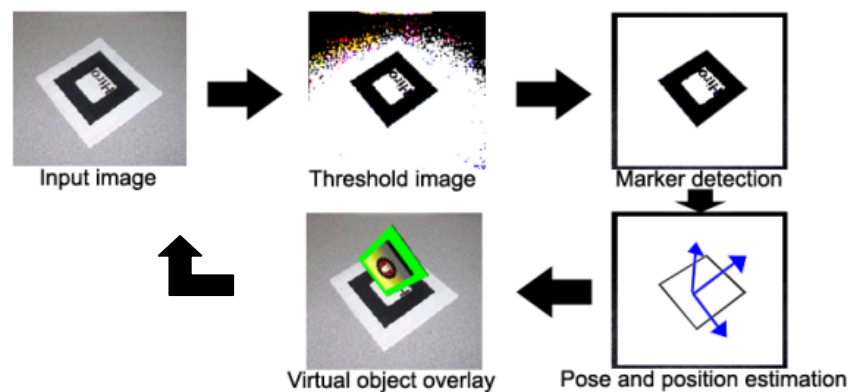
ด้วยสาเหตุข้างต้น รวมทั้งพบว่ายังไม่มีผู้ทำการวิจัยในประเด็น ผลกระทบของค่าขีดแบ่ง และความ ส่องสว่างที่ไม่คงที่ในการติดตามด้วยไลบรารี ARToolkit งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลกระทบของค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่างที่มีต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์ โดยนำ ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐานของ

ไลบรารี ARToolkit จำนวน 4 ตัวอย่างทดลองภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่าง ซึ่งแบ่งความส่องสว่างออกเป็น 3 ช่วง และทดลองปรับการทำค่าขีดแบ่ง เพื่อหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่ง ที่มีผลต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่าง ซึ่งสามารถนำค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมไปใช้กับความส่องสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดตามเครื่องหมายเออาร์ดีขึ้น และยังส่งผลให้การติดตามและการประมวลผลมีความต่อเนื่องอีกด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำงานของเทคโนโลยีเออาร์

การทำงานของเทคโนโลยีเออาร์ อาศัยเทคนิคการทำค่าขีดแบ่ง เพื่อใช้สำหรับรู้จำ ติดตาม เครื่องหมายเออาร์ การคำนวณตำแหน่งระหว่างกล้อง และเครื่องหมายเออาร์ และตำแหน่งที่ใช้สำหรับสร้างภาพกราฟิก 3 มิติ ซึ่งเทคนิคการทำค่าขีดแบ่งเป็นกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัลระดับต่ำ โดยทำการเข้ารหัสเป็นรหัสทวิภาค (Binary Code) และนำคุณลักษณะของรหัสทวิภาคของเครื่องหมายเออาร์ (Identify Marker) เปรียบเทียบกับเทมเพลตในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงทำการสร้างภาพกราฟิกเสมือนจริง และนำไปแสดงบนอุปกรณ์แสดงผล โดยอาศัยวิธีการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์และวิดีโอทัศน์ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของเทคโนโลยีนี้จะทำงานในลักษณะวนซ้ำไปมาตลอดจนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งาน ดังรูปที่ 2



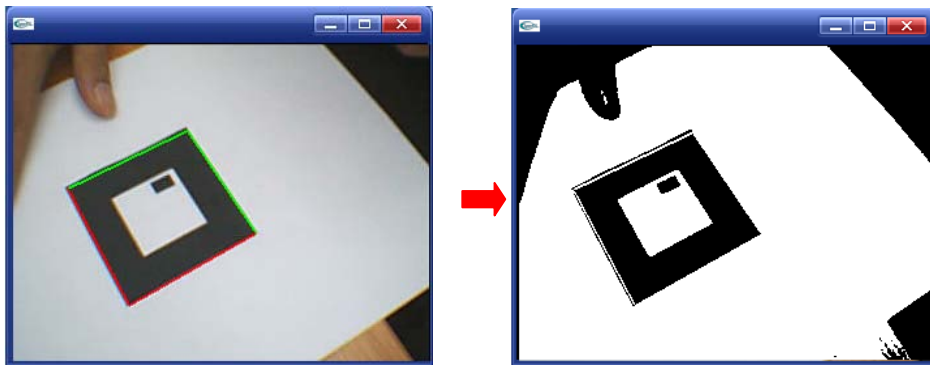
รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของไลบรารี ARToolkit [7]

สำหรับการติดตามเพื่อเข้ารหัสด้วยไลบรารี ARToolkit นั้น อาศัยวิธีการแปลงจากภาพสีเป็นภาพขาวดำ โดยใช้เทคนิคการแยกบริเวณจุดภาพ (Segmentation) ด้วยวิธีการทำค่าขีดแบ่ง แบบคงที่ (Fixed Thresholding) ซึ่งสามารถทำงานได้ดีกับภาพชนิดขาวดำที่มีความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังที่ชัดเจน ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีความเหมาะสม เมื่อนำมาใช้กับเครื่องหมายเออาร์ จากนั้นจึงทำการเข้ารหัสเป็นรหัสทวิภาค

ในรูปแบบไฟล์นามสกุล PATT เพื่อใช้ในการระบุคุณลักษณะเป็นรหัสทวิภาคของแต่ละเครื่องหมายเออาร์ไม่ให้ซ้ำกัน เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไป [7]

2.2 การทำค่าขีดแบ่ง

การทำค่าขีดแบ่งแบบ Global Thresholding [11] เป็นวิธีการหนึ่งในกระบวนการประมวลผลภาพระดับต่ำ ซึ่งทำหน้าที่จัดการแยกจุดภาพ (Pixel) โดยจะสร้างภาพขึ้นมาใหม่ในลักษณะเป็นรหัสภาพเลขฐานสองหรือเป็นลักษณะภาพขาวดำ (Binary Image) ดังรูปที่ 4



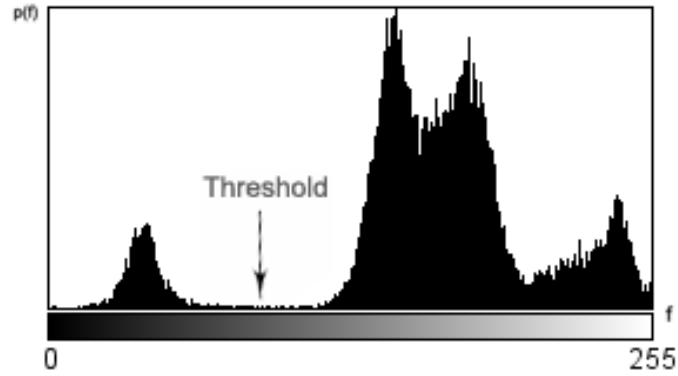
รูปที่ 4 การทำค่าขีดแบ่ง

การทำค่าขีดแบ่งในแต่ละจุดภาพ มีค่า 2 ค่า คือ 0 และ 1 หรือ 0 และ 255 โดยกำหนดให้ค่า 0 แทนจุดภาพสีดำ และค่า 1 หรือ 255 แทนจุดภาพสีขาว ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่งที่ได้กำหนดเริ่มต้น โดยทำการแยกกลุ่มของจุดภาพว่าเป็นวัตถุเดียวกันหรือเป็นภาพพื้นหลัง ถ้ามีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง จะทำการเปลี่ยนค่าจุดภาพในตำแหน่งนั้นให้เป็นค่าสูงสุดหรือเป็นภาพวัตถุ และถ้าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งจะทำการเปลี่ยนค่าจุดภาพในตำแหน่งนั้นให้เป็นค่าต่ำสุดหรือเป็นภาพพื้นหลัง สามารถคำนวณค่าขีดแบ่งได้จากสมการที่(1)

$$T = T[f(x,y)] \quad (1)$$

โดยที่ T คือ ค่าขีดแบ่ง แบบ Global Thresholding
 $f(x,y)$ คือ ระดับข้อมูลภาพขาวดำ (Gray-Level) ณ ตำแหน่งที่ x, y

โดยปกติในการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังด้วยวิธีการทำค่าขีดแบ่งแบบ Global Thresholding จะพิจารณาจากค่ากราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram) โดยการเลือกค่าขีดแบ่งจะเลือกจากจุดต่ำสุดของกราฟแสดงค่าความถี่ ที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (Peaks) ดังรูปที่ 5 สามารถคำนวณค่าขีดแบ่งได้จากสมการที่ (2)



รูปที่ 5 การเลือกค่าขีดแบ่งจากกราฟแสดงค่าความถี่ [11]

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } f(x,y) > T \text{ (กลุ่มจุดภาพวัตถุ)} \\ 0 & \text{อื่นๆ หรือ } f(x,y) \leq T \text{ (กลุ่มจุดภาพพื้นหลัง)} \end{cases} \quad (2)$$

โดยที่ $g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพค่าขีดแบ่ง ณ ตำแหน่งที่ x, y
 $f(x,y)$ คือ ระดับข้อมูลภาพขาวดำ (Gray-Level) ณ ตำแหน่งที่ x, y
 T คือ ค่าขีดแบ่ง แบบ Global Thresholding

ตารางที่ 1 ความส่องสว่างตามมาตรฐานของ CIE [12] และ IEC [13]

พื้นที่ต่างๆ	มาตรฐาน CIE (ลักซ์)	มาตรฐาน IEC (ลักซ์)
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200
บันได	100-150-200	100-150-200
ลิฟต์	100-150-200	100-150-200
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200

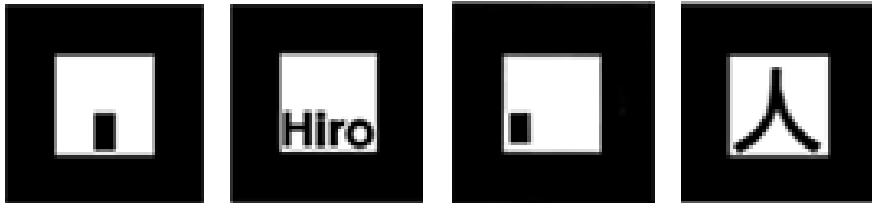
2.3 ความส่องสว่าง

ความส่องสว่าง (Illuminance) คือ ปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตรหรือลักซ์ (Lux) ซึ่งมาตรฐานของ CIE [12] และ IEC 61892-2 [13] ได้กำหนดมาตรฐานความส่องสว่างภายในอาคารตามข้อกำหนด โดยกำหนดขึ้นตามประเภทของพื้นที่หรือกิจกรรมดังตารางที่ 1

3. การเตรียมอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 การเตรียมอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐานของไลบรารี ARToolkit [7] ชนิดเครื่องหมายเออาร์เดี่ยว (Single Marker) รูปแบบไฟล์ของตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์เป็น BMP ชนิด 24 บิต ความละเอียดเท่ากับ 72 พิกเซลต่อนิ้ว ขนาด 8x8 ซม. จำนวน 4 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐาน [7]

ในงานวิจัยนี้อาศัยการเขียนโปรแกรมทดสอบการติดตามด้วยภาษา C++ และการเขียนโปรแกรมอ้างอิงไลบรารี ARToolkit เวอร์ชัน 2.72.1 โดยใช้วิธีการทำค่าขีดแบ่ง แบบ Global Thresholding เพื่อใช้ในช่วงตอนการเข้ารหัส และติดตาม เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีกับภาพชนิดขาวดำที่มีความแตกต่างของวัตถุ และพื้นหลังที่ชัดเจน รวมทั้งสามารถทำงานได้ดีภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในการวัดความผิดพลาดของการติดตามในขณะที่ทำงาน ใช้อัตราความเร็วของข้อมูลวิดีโอ (Frame rate) ที่ 300 เฟรม โดยทำการทดสอบบนไมโครคอมพิวเตอร์ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows XP โดยมีคุณลักษณะของเครื่องดังนี้ CPU Intel Pentium D 1.86 GHZ, Hard disk 320 GB, DDR2 RAM 1 GB, Intel chipset VGA onboard 128 MB, กล้อง USB 2.0 ชนิดความละเอียด 3 ล้านพิกเซล, เครื่องมือสำหรับวัดความส่องสว่าง (Lux Meter) ยี่ห้อ Digicon รุ่น LX-50, ชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างชนิดปรับความส่องสว่างได้, ห้องทดลองปิดทึบขนาดเท่ากับ 2 x 2 x 2 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

3.2 วิธีการวิจัย

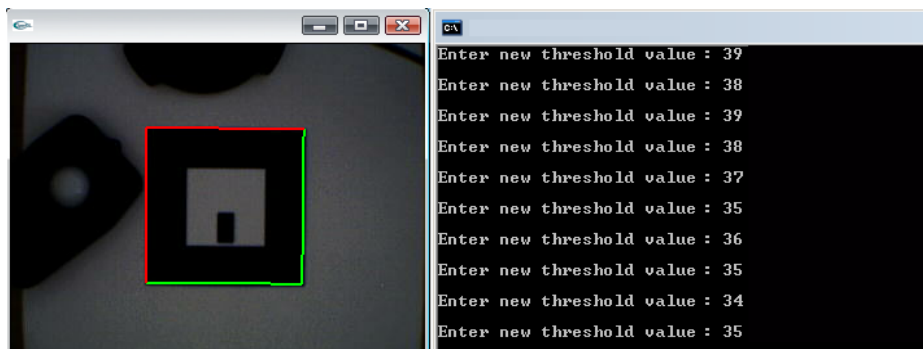
การศึกษาผลกระทบของค่าขีดแบ่ง และปริมาณความส่องสว่าง ที่มีผลต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์ ใช้ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐาน จำนวน 4 ตัวอย่าง โดยนำมาทำการทดลองกับโปรแกรมทดสอบการติดตามที่ละ 1 เครื่องหมายเออาร์ ซึ่งกำหนดระยะห่างระหว่างกล้องกับตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์

เท่ากับ 40 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่เกิดความผิดพลาดน้อย และสามารถติดตามได้ดีในสภาวะความส่องสว่างคงที่ [6] จากนั้นทำการปรับความส่องสว่าง ตั้งแต่ 0-300 ลักซ์ ตามมาตรฐาน CIE [12] และ IEC [13] ด้วยชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดปรับความส่องสว่าง โดยแบ่งการปรับความส่องสว่างออกเป็น 3 ช่วงเพื่อเป็นตัวแทนของประเภทของพื้นที่ต่างๆ คือ 300-200 ลักซ์(ความส่องสว่างปกติ), 200-100 ลักซ์(ความส่องสว่างสลัว) และ 100-0 ลักซ์(ความส่องสว่างต่ำ) โดยสามารถอ่านค่าความส่องสว่างจากเครื่องมือวัดความส่องสว่าง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดลองปรับความส่องสว่าง

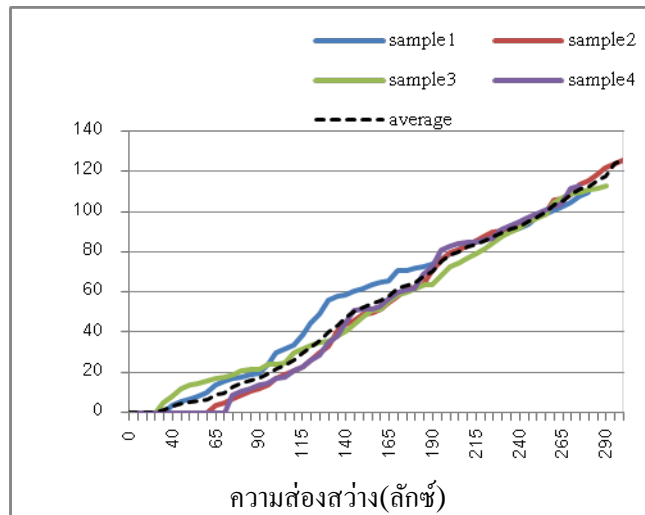
สำหรับการปรับค่าขีดแบ่งด้วยโปรแกรมทดสอบการติดตามเครื่องหมายเออาร์ โดยปรับเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0-255 ครั้งละ 1 ค่าและปรับลดลงครั้งละ 1 ค่า ตามลำดับ และวัดความผิดพลาดของการติดตามในขณะที่ทำงานด้วยอัตราความเร็วของข้อมูลวิดีโอที่ 300 เฟรมหรือความสามารถในการติดตามได้ คงที่ภายใน 10 วินาที ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ และทำการบันทึกค่าขีดแบ่งและความส่องสว่างที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้ง ดังรูปที่ 7 จนกระทั่งไม่สามารถติดตามได้จึงหยุดการปรับค่า จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์ โดยทำการทดลอง ซ้ำในขั้นตอนแรกจนกระทั่งครบทั้ง 4 ตัวอย่าง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่างที่มีผลต่อการติดตามเครื่องหมายเออาร์



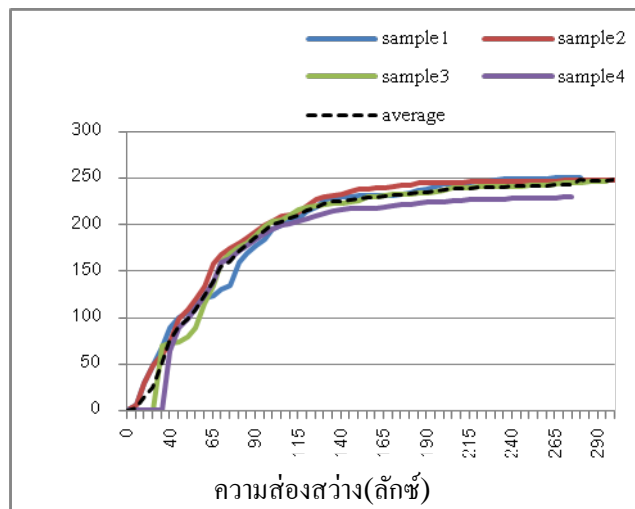
รูปที่ 7 การทดลองปรับค่าขีดแบ่ง

3. ผลการทดลอง

จากการทดลองปรับค่าขีดแบ่ง ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่างที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ โดยใช้ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์ จำนวน 4 เครื่องหมาย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งต่ำสุด สูงสุด และความส่องสว่าง มีผลการทดลอง ดังรูปที่ 8-9 ซึ่งจากรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งต่ำสุดและความส่องสว่าง ผลการทดลองพบว่า อัตราค่าขีดแบ่งของตัวอย่างทั้งหมดจะแปรผันโดยตรงตามความส่องสว่าง โดยที่เงื่อนไขความส่องสว่างต่ำสุดที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ เท่ากับ 35 ลักซ์ มีค่าขีดแบ่งต่ำสุด เท่ากับ 5 ในขณะที่ความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 300 ลักซ์ มีค่าขีดแบ่งเท่ากับ 126 และจากรูปที่ 9 พบว่าอัตราค่าขีดแบ่งของตัวอย่างทั้งหมดจะแปรผันโดยตรงตามความส่องสว่างเช่นกัน โดยที่เงื่อนไขความส่องสว่างต่ำสุดที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ เท่ากับ 15 ลักซ์ มีค่าขีดแบ่งต่ำสุด เท่ากับ 5 ในขณะที่ความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 300 ลักซ์ มีค่าขีดแบ่ง เท่ากับ 249

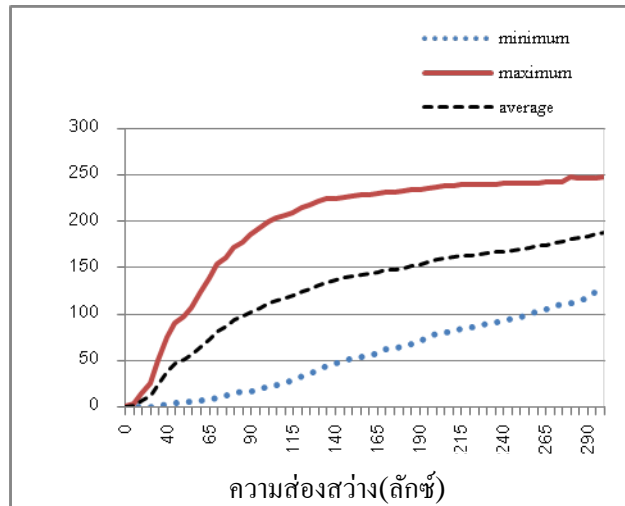


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งต่ำสุดและความส่องสว่าง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งสูงสุดและความส่องสว่าง

นอกจากนี้ จากรูปที่ 8-9 ยังพบว่า เมื่อมีการปรับความส่องสว่างเท่ากับ 150 ลักซ์ขึ้นไป ส่งผลให้ค่าขีดแบ่งสูงสุดมีความชันของกราฟมากกว่าค่าขีดแบ่งต่ำสุด และมีแนวโน้มคงที่หลังจากปรับความส่องสว่างดังกล่าว จึงเห็นได้ว่า ความส่องสว่างไม่มีผลกระทบต่อค่าขีดแบ่งสูงสุด ในขณะที่ค่าขีดแบ่งต่ำสุดมีความชันของกราฟเกือบจะคงที่ แม้ว่าจะมีการปรับปริมาณความสว่างเพิ่มขึ้นก็ตาม



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งต่ำสุด ค่าขีดแบ่งสูงสุด และความส่องสว่าง

จากรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งต่ำสุด ค่าขีดแบ่งสูงสุด และความส่องสว่าง ผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งเป็นค่าที่เหมาะสม ที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดในแต่ละช่วงความส่องสว่างได้ ซึ่งส่งผลให้สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ดีขึ้น

จากตารางที่ 2 แสดงผลของค่าขีดแบ่งที่ได้ทำการปรับความส่องสว่าง โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง เพื่อเป็นตัวแทนของประเภทของพื้นที่ต่างๆ ซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างในแต่ละช่วง เท่ากับ 250, 150 และ 50 นำมาทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์ จำนวน 4 เครื่องหมาย พบว่า ค่าขีดแบ่งสูงสุด ค่าขีดแบ่งต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่ง ที่สามารถติดตามได้ในช่วงที่ 1 (\bar{x}_1) เท่ากับ 242.25, 97.5 และ 169.88 ตามลำดับ ในช่วงที่ 2 (\bar{x}_2) เท่ากับ 228.25, 52.75 และ 140.5 ตามลำดับ ในช่วงที่ 3 (\bar{x}_3) เท่ากับ 98, 5.25 และ 51.63 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งสูงสุด ค่าขีดแบ่งต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งทั้งหมด 3 ช่วง (\bar{x}_{Total}) เท่ากับ 189.5, 51.83 และ 120.67 ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่า ค่าขีดแบ่งสูงสุด และค่าขีดแบ่งต่ำสุดมีค่า $p=0.000 < \alpha=0.05$ ทั้ง 2 ค่า จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งโดยใช้ความส่องสว่างทั้ง 3 ช่วง อย่างน้อย 1 คู่ ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 12

ตารางที่ 2 ผลของค่าขีดแบ่งกับความส่องสว่างทั้ง 3 ช่วง

ความส่องสว่าง (ลักซ์)	ค่าขีดแบ่งสูงสุด	ค่าขีดแบ่งต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่ง (\bar{x}_{Total})
ช่วงที่ 1 (250 ลักซ์)			
ตัวอย่างที่ 1	250	97	173.5
ตัวอย่างที่ 2	248	97	172.5
ตัวอย่างที่ 3	243	97	170
ตัวอย่างที่ 4	228	99	163.5
ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งช่วงที่ 1 (\bar{x}_1)	242.25	97.5	169.88
ช่วงที่ 2 (150 ลักซ์)			
ตัวอย่างที่ 1	231	62	146.5
ตัวอย่างที่ 2	239	49	144
ตัวอย่างที่ 3	226	48	137
ตัวอย่างที่ 4	217	52	134.5
ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งช่วงที่ 2 (\bar{x}_2)	228.25	52.75	140.5
ช่วงที่ 3 (50 ลักซ์)			
ตัวอย่างที่ 1	105	7	56
ตัวอย่างที่ 2	109	0	54.5
ตัวอย่างที่ 3	79	14	46.5
ตัวอย่างที่ 4	99	0	49.5
ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งช่วงที่ 3 (\bar{x}_3)	98	5.25	51.63
ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งทั้งหมด (\bar{x}_{Total})	189.5	51.83	120.67

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
MAX	1	4	242.25	9.95	4.97	226.42	258.08	228	250
	2	4	228.25	9.22	4.61	213.59	242.91	217	239
	3	4	98.00	13.32	6.66	76.81	119.19	79	109
	Total	12	189.50	68.56	19.79	145.94	233.06	79	250
MIN	1	4	97.50	1.00	.50	95.91	99.09	97	99
	2	4	52.75	6.40	3.20	42.57	62.93	48	62
	3	4	5.25	6.70	3.35	-5.41	15.91	0	14
	Total	12	51.83	39.64	11.44	26.65	77.02	0	99

Test of Homogeneity of Variances

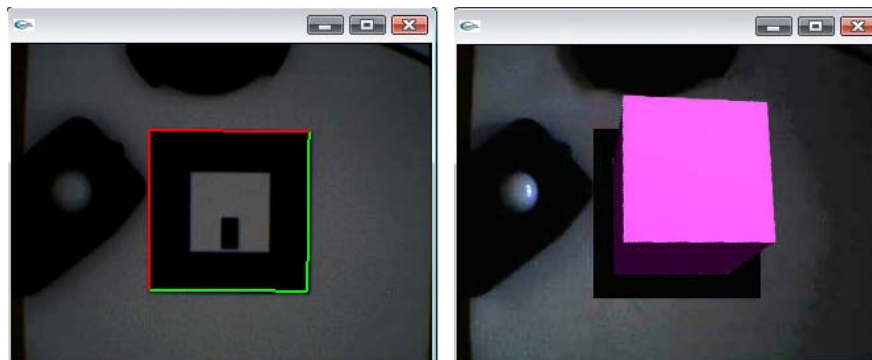
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
MAX	.237	2	9	.793
MIN	3.426	2	9	.078

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MAX	Between Groups	50625.500	2	25312.750	210.258	.000
	Within Groups	1083.500	9	120.389		
	Total	51709.000	11			
MIN	Between Groups	17025.167	2	8512.583	294.101	.000
	Within Groups	260.500	9	28.944		
	Total	17285.667	11			

รูปที่ 12 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สำหรับการนำค่าขีดแบ่งที่ได้จากการทดลองปรับค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่างของตัวอย่าง เครื่องหมายเออาร์ทั้งหมดนั้น มาใช้ทดสอบการติดตาม และการประมวลผลกราฟิก ภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างทั้ง 3 ช่วง พบว่า การติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ดีขึ้น และมีความต่อเนื่อง รวมทั้งยังทำให้สามารถประมวลผลได้สมบูรณ์ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การติดตามและการประมวลผลได้สมบูรณ์

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของค่าขีดแบ่ง ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง ที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ โดยใช้ตัวอย่าง เครื่องหมายเออาร์ จำนวน 4 เครื่องหมาย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งต่ำสุด สูงสุด พบว่า ค่าขีดแบ่งมีความสัมพันธ์ แปรผันโดยตรงกับความส่องสว่าง โดยมีความส่องสว่างต่ำสุดที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ เท่ากับ 15 ลักซ์ และความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 300 ลักซ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งที่สามารถติดตามได้ในช่วงที่ 1 (\bar{x}_1) เท่ากับ 169.88 ในช่วงที่ 2 (\bar{x}_2) เท่ากับ 140.5 ในช่วงที่ 3 (\bar{x}_3) เท่ากับ 51.63 และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งสูงสุด ค่าขีดแบ่งต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งทั้งหมด 3 ช่วง (\bar{x}_{Total}) เท่ากับ 120.67 ซึ่งค่าขีดแบ่งที่ได้ข้างต้นสามารถนำไปใช้ ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่างที่แตกต่างกันได้ ในขณะที่ไลบรารี ARToolkit ซึ่งมีค่าขีดแบ่งคงที่ จึงสามารถใช้ได้เฉพาะเงื่อนไขความส่องสว่างคงที่เท่านั้น นอกจากนี้เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์ผลทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่งโดยใช้ความส่องสว่างทั้ง 3 ช่วง อย่างน้อย 1 คู่ ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำค่าขีดแบ่งที่มีความเหมาะสม ไปใช้ได้กับความส่องสว่าง แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่างก็ตาม ส่งผลให้การติดตามเครื่องหมายเออาร์มีประสิทธิภาพดีขึ้น และทำให้การติดตามมีความต่อเนื่อง รวมทั้งยังทำให้สามารถประมวลผลได้สมบูรณ์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Azuma et al., "A Survey of Augmented Reality.", *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.6, no.4, pp. 355-385, 1997.
- [2] R. Silva, C. Oliveira and A. Giraldi, "Introduction to Augmented Reality.", *National Laboratory for Scientific Computation*.
- [3] Claudio Kirner, Member IEEE, Ezequiel R. Zorzal and T. G. Kirner, "Case Studies on the Development of Game Using Augmented Reality.", *Methodist University*, 2006.
- [4] D. Wagner and D. Schmalstieg, "ARToolkitPlus for pose tracking on mobile devices.", *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop(CVWW)*, 2007, 2, 15, pp. 6-8, 2007.
- [5] Borting Chen, Chia-Chi Wu, Yi-Chi Huang and Yu-Lun Huang, "START: A Selective Thresholding Augmented Reality Toolkit.", *Proceedings of 2011 8th Asian Control Conference(ASCC)*, Kaohsiung, Taiwan, May 15-18, pp. 293-298, 2011.
- [6] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for Video-base Augmented Reality Conferencing System.", *Proceedings of IWAR 99*, pp. 85-94, 1999.
- [7] Hirokazu Kato, Mark Billinghurst and Iran Poupyery, "ARToolKit User manual version 2.33", *Human Interface Technology Lab, University of Washington*, 2000.

- [8] Thomas Pintaric, “An Adaptive Thresholding Algorithm for the Augmented reality Toolkit.”, *Vienna University of Technology*, 2003.
- [9] Martin Hirzer, “Marker Detection for Augmented Reality Applications.”, *Inst. For Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, Polytechnic University, Brooklyn, NY*, 2008.
- [10] Hongfei Wu, Fengjing Shao, Rencheng Sun, “Research of quickly identifying markers on Augmented Reality.”, *Advanced Management Science(ICAMS), 2010 IEEE International Conference*, 3, pp. 671-675, 2010.
- [11] R. C. Gonzalez et al., “Digital Image Processing.”, in Chapter 10, 2nd ed.; Prentice Hall, 2004.
- [12] International Commission on Illumination(CIE), “CIE Colorimetry-Part2: Standard illuminant for Colorimetry.”, *ISO 11664-2:2007(E)/CIE S 014-2/E:2006*. Vienna, Austria, 2007.
- [13] International Electrotechnical Commission (IEC), “General lighting illumination level. 2005”. *IEC 61892-2 International Standard*. Geneva 20, Switzerland, 2005.

บทความนี้ส่งเข้ามาเมื่อ 16 กันยายน 2554 และได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์เมื่อ 11 มกราคม 2555