



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การติดตามเครื่องหมายเออาร์ด้วยวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไข

An automatic threshold level selection method for AR marker's tracking under conditions

กฤตชัย บุญควินนท์* และ สรายุทธ ฐิตะภาส

Krittachai Boonsivanon* and Sarayut thitapars

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46230

Department of Computer Engineering, Faculty of Creative Industry, Kalasin Rajabhat University, Kalasin, Thailand, 46230.

Received April 2013

Accepted September 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ สำหรับการติดตามเครื่องหมายเออาร์ของเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality ; AR) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่าง และระยะทาง โดยนำตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐานมาทดลองกับ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการขีดแบ่งคงที่ วิธีการขีดแบ่งครอบคลุม และวิธีการเลือกระดับขีดแบ่งอัตโนมัติ ผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่าง จำนวน 4 ช่วงพบว่า วิธีการที่สามารถติดตามได้ดีที่สุดทั้ง 2 เงื่อนไข คือ วิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ โดยมีค่าขีดแบ่งของตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมดแปรผันโดยตรงตามความส่องสว่าง และมีค่าขีดแบ่งเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 5.92 สำหรับผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขระยะทางพบว่า ระยะทางจะแปรผันโดยตรงกับความส่องสว่างทุกช่วง ในขณะที่ระยะทางแปรผันกับค่าขีดแบ่ง ซึ่งได้ระยะทางดีกว่าวิธีการอื่นๆ โดยช่วงความส่องสว่าง เท่ากับ 15 ลักซ์ และ 35-45 ลักซ์ มีระยะทางที่สามารถติดตามได้มากที่สุด เท่ากับ 350 มิลลิเมตร และ 500 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่างทั้ง 3 วิธีการพบว่า ค่าขีดแบ่งมีค่า $p=0.000 < \alpha=0.05$ แสดงว่าค่าขีดแบ่งโดยใช้ความส่องสว่างทั้ง 4 ช่วงทุกคู่ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ : การเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ การติดตามเครื่องหมายเออาร์ เทคโนโลยีเออาร์ ความส่องสว่างไม่คงที่

Abstract

This paper presents an automatic threshold level selection method for AR marker's tracking of Augmented Reality (AR) technology. To compare the efficiency of tracking the AR marker standard, the experiments are performed under the illumination and distance conditions. Three methods are used including fixed threshold, global thresholding and automatic threshold level selection. The results under illumination conditions show

* Corresponding author. Tel.: +66 8 7423 6374

Email address: krittachai@fci.ksu.ac.th

that the best method is the automatic threshold level selection method which threshold values are direct variations with illumination of thresholding's minimum average of 5.92. The results under distance conditions show that the best method is the automatic threshold level selection method. In this, the distance varies all ranges of illumination while its distance is inversely proportional to all thresholds. The automatic threshold level selection method can track all ranges of illumination and obtain the best result compared to other ones. With the illuminations of 15 lux and 35-45 lux, the most effective distances are 350 mm and 500 mm, respectively. In addition, the statistical analysis is used to determine the significant differences in the threshold ($p=0.000 < \alpha = 0.05$).

Keywords : Automatic threshold level selection, AR marker tracking, Augmented reality, Uneven illumination

1. บทนำ

การพัฒนาคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ ที่มีลักษณะเสมือนจริง (Virtual Reality; VR) มีบทบาทเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะการพัฒนาต้นแบบหรือจำลองชิ้นงานเสมือนจริงขึ้นมานั้น ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถวิเคราะห์ และแก้ไขต้นแบบก่อนผลิตหรือสร้างชิ้นจริง [1,2] แต่บางครั้งในการออกแบบต้นแบบนั้น ยังมีข้อจำกัดในการออกแบบ คือ ความต้องการที่จะแสดงผลวัตถุเสมือนจริงนั้นผสมผสานกับบนสภาพแวดล้อมหรือบริเวณที่ปฏิบัติงานจริง ซึ่งเทคโนโลยีเสมือนจริงสามารถแสดงผลภายในสภาพแวดล้อมจำลองเท่านั้น รวมทั้งมีค่าใช้จ่าย และใช้เวลามากในการพัฒนาต้นแบบ

เทคโนโลยีเออาร์หรือความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality; AR) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการแสดงกราฟิกจำลองเสมือนจริง 3 มิติซึ่งคล้ายกับเทคโนโลยีเสมือนจริง แต่มีข้อแตกต่างคือ สามารถผสมผสานเข้ากับสภาพแวดล้อมจริง โดยอาศัยเทคนิคการแสดงผลทัศนศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer vision) ในรูปแบบการส่งข้อมูลสัญญาณวิดีโอต่อเนื่อง ชนิดการถ่ายทอดสัญญาณทันทีกาล (Live-video streams) และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) ในการติดตาม (Tracking) และการรู้จำ (Recognition) ตำแหน่งของเครื่องหมายเออาร์ (AR marker) [3,4] เพื่อ

รองรับการตอบสนองของผู้ใช้งานทันทีในการเปลี่ยนแปลงระยะ และมุมมองที่เกิดขึ้นทันทีตลอดเวลา รวมทั้งใช้ในการอ้างอิงหรือคำนวณตำแหน่ง เพื่อใช้สำหรับสร้างกราฟิกเสมือนจริงอีกด้วย [5] จึงเห็นได้ว่าการติดตามเครื่องหมายเออาร์เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว โดยหลักการพื้นฐานในการติดตามของเทคโนโลยีเออาร์มีด้วยกันหลายวิธี แต่หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมคือ การติดตามโดยอาศัยเครื่องหมาย (Marker-based tracking) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายไม่สูงและง่ายต่อการติดตั้งและทดสอบ

อย่างไรก็ตาม วิธีการติดตามดังกล่าวมีหลายปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลัก และส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการติดตาม ซึ่งส่งผลต่อเนื่องทำให้ไม่สามารถประมวลผลวัตถุเสมือนจริงหรือเกิดการประมวลผลที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ เช่น ขนาดของเครื่องหมายเออาร์ มุม และระยะห่างที่ใช้ในการติดตาม ซึ่งนอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว ความส่องสว่างนั้นก็เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการติดตาม เนื่องจากในกระบวนการติดตามและวิเคราะห์เครื่องหมายจะอาศัยเทคนิคการทำค่าขีดแบ่ง (Thresholding) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะพิจารณาค่าขีดแบ่งจากค่ากราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram) โดยเฉพาะในการทำค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการติดตามของเทคโนโลยี

ดังกล่าว ถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ (Fixed threshold; FT)) มีค่าเท่ากับ 100 ที่ติดตามซึ่งใช้ได้ดีเฉพาะในสภาวะที่มีความส่องสว่างปกติหรือคงที่เท่านั้น แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่าง ค่าขีดแบ่งยังคงไม่เปลี่ยนแปลงตามค่ากราฟแสดงความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ไม่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีเออาร์

เทคโนโลยีเออาร์ เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการแสดงกราฟิกจำลองเสมือนจริง 3 มิติ ผสานซ้อนทับกับสภาพแวดล้อมจริงในรูปแบบสัญญาณวิดีโอต่อเนื่อง โดยใช้หลักการประมวลผลภาพดิจิทัล และการแสดงทัศนศาสตร์คอมพิวเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.1.1 การนำเข้าสัญญาณภาพ โดยใช้กล้องวิดีโอดิจิทัลที่สนับสนุนสัญญาณภาพชนิด NTSC หรือ PAL ที่มีรูปแบบการบีบอัดในการส่งข้อมูลเป็น YUV:4:2:2 YUV:4:1:1

2.1.2 การค้นหาเครื่องหมายเออาร์ และทำการแปลงภาพสีให้เป็นภาพสีเทา (Gray image)

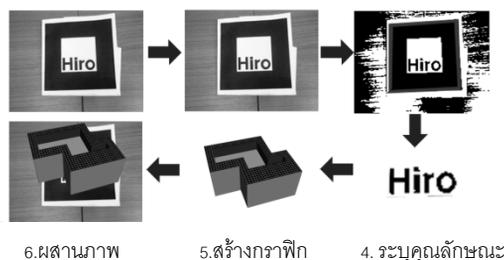
2.1.3 การเข้ารหัสภาพรหัสทวิภาคหรือรหัสเลขฐานสอง (Binary code) เพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งระหว่างกล้องกับเครื่องหมายเออาร์

2.1.4 ระบุและนำคุณลักษณะจากการเข้ารหัส (Identification marker: IDs) ที่ได้ข้างต้น เก็บในรูปแบบไฟล์นามสกุล PATT และนำมาเปรียบเทียบกับเทมเพลตของหน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้อ้างอิงกับภาพกราฟิกเสมือนจริงที่ต้องการให้แสดงผล

2.1.5 การสร้างภาพกราฟิกเสมือนจริง

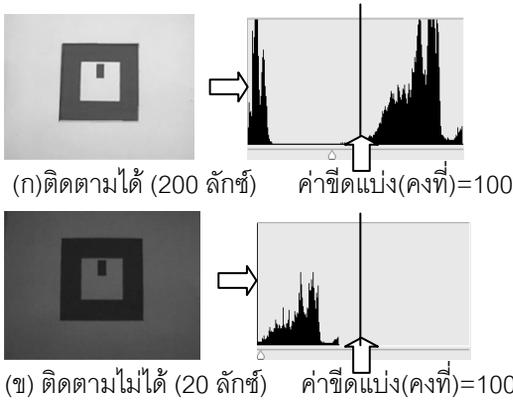
2.1.6 ผสานภาพกราฟิกเสมือนจริงบนตำแหน่งเครื่องหมายเออาร์ที่ได้คำนวณไว้ ในลักษณะการประมวลผลภาพขึ้นในแต่ละเฟรมวิดีโออย่างต่อเนื่อง โดยแสดงผลออกทางจอภาพคอมพิวเตอร์ (Monitor) และมีการทำงานในลักษณะวนซ้ำไปมาจากขั้นตอนที่ 1-6 จนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งาน [6,7] ดังรูปที่ 1

1.นำเข้าสัญญาณภาพ 2.ค้นหาเครื่องหมาย 3.คำนวณตำแหน่ง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของเทคโนโลยีเออาร์

ขั้นตอนการเข้ารหัสหรือการวิเคราะห์ภาพเป็นรหัสทวิภาคนับได้ว่าเป็นอีกกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากต้องอาศัยการเข้ารหัสสัญญาณภาพเครื่องหมายเออาร์ที่เป็นสัญญาณวิดีโอชนิดต่อเนื่องด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ในการขีดแบ่งกลุ่มของจุดภาพพื้นหลังและวัตถุออกจากกัน โดยพิจารณาค่าขีดแบ่งจากค่ากราฟแสดงความถี่ ซึ่งเทคโนโลยีเออาร์ ถูกกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นชนิดค่าคงที่ ซึ่งใช้ได้ดีเฉพาะในสภาวะที่มีความส่องสว่างปกติหรือคงที่เท่านั้น แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่าง ค่าขีดแบ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามค่ากราฟแสดงความถี่ จึงทำให้ไม่สามารถเข้ารหัส ไม่สามารถติดตาม และประมวลผลกราฟิกได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากราฟแสดงค่าความถี่ ค่าขีดแบ่ง และความส่องสว่าง

2.2 วิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ

ปัญหาหลักทั่วไปของวิธีการขีดแบ่ง คือ การหาระดับค่าขีดแบ่งที่ดีหรือค่าที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ (automatic threshold level selection; ATLS) เป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์หลัง การจัดระเบียบข้อมูลให้เป็นกลุ่มได้ชัดเจน และสามารถแสดงข้อมูลที่เข้าใจง่ายขึ้น[8] ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ปรับปรุง และแก้ปัญหาหลักของการทำค่าขีดแบ่งคงที่และวิธีการขีดแบ่งครอบคลุม(global thresholding; GT)[8]ด้วยการจัดกลุ่มก่อนคำนวณค่าขีดแบ่งใหม่ จึงทำให้ได้ระดับค่าขีดแบ่งที่ดีหรือค่าที่เหมาะสมส่งผลให้การติดตามเครื่องหมายเออาร์มีประสิทธิภาพดีขึ้นรวมทั้งยังสามารถทำงานได้ดีภายใต้สภาวะที่ความส่องสว่างมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงที่อีกด้วยวิธีการนี้มีขั้นตอนในการทำงาน ดังรูปที่ 3 โดยการกำหนดค่ากลางของจุดภาพ (T_0) เพื่อใช้ในการแบ่งบริเวณกลุ่มจุดภาพ ดังสมการที่ 1

$$T_0 = \frac{\min(g(x,y)) + \max(g(x,y))}{2} \tag{1}$$

โดยที่ $g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่ x, y
 T_0 คือ ค่ากลางของจุดภาพ

จากนั้นจึงทำการแยกบริเวณกลุ่มจุดภาพด้วยการจัดบริเวณ (Region) ออกเป็น 2 บริเวณ โดยกำหนดให้บริเวณที่ 1 ($G1$) คือกลุ่มค่าข้อมูลภาพขีดแบ่ง ณ ตำแหน่งที่ x และ y ที่มีค่ามากกว่าค่ากลางของจุดภาพ (T_0) และกำหนดให้บริเวณที่ 2 ($G2$) คือกลุ่มค่าข้อมูลภาพขีดแบ่ง ณ ตำแหน่งที่ x และ y ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่ากลางของจุดภาพ ดังสมการที่ 2

$$G1 = \{ g(x,y) \mid g(x,y) > T_0 \} \tag{2}$$

$$G2 = \{ g(x,y) \mid g(x,y) \leq T_0 \}$$

การหาค่าเฉลี่ยของค่าสีเทาในแต่ละบริเวณ และนำค่าที่ได้ในแต่ละบริเวณมาทำการคำนวณหาค่าขีดแบ่ง ดังสมการที่ 3

$$\mu_1 = \frac{\sum_{k=0}^{T^i} h_k * k}{\sum_{k=0}^{T^i} h_k} \tag{3}$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{k=T^{i+1}}^{T^{i+1}-1} h_k * k}{\sum_{k=T^{i+1}}^{T^{i+1}-1} h_k}$$

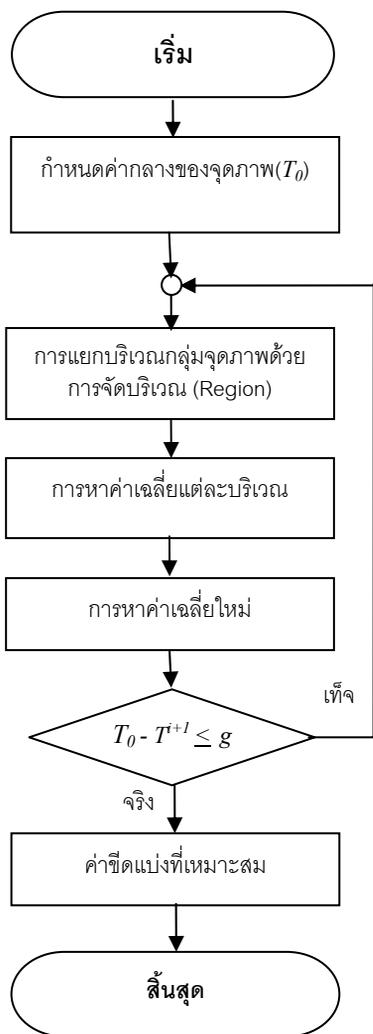
โดยที่ h_k คือ จำนวนของค่าสีเทาที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากับ k และกำหนดให้ $i=0$

สำหรับการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 4

$$T^{i+1} = (\mu_1 + \mu_2) \tag{4}$$

สำหรับขั้นตอนการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละบริเวณถึงขั้นตอนการหาค่าเฉลี่ยใหม่จะทำงานวนซ้ำไปมาจนกระทั่งค่าขีดแบ่งที่ได้มีผลต่างน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่ถูกกำหนดไว้เป็นค่ากลางของจุดภาพ (T_0) จึงหยุดขั้นตอนทำซ้ำ และใช้ค่าขีดแบ่งที่ได้ คือ T ซึ่งเป็นค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ใช้ในการแยกบริเวณจุดภาพ ดังสมการที่ 5

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 < g(x,y) \leq T \\ 0 & \text{if } T < g(x,y) \leq T \end{cases} \tag{5}$$



รูปที่ 3 ผังวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ

2.3 วิจารณ์วรรณกรรม

Xiaohu Ma. [9] ได้นำเสนอระบบ MAR ซึ่งได้ทำการปรับปรุงอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มจุดภาพและวิเคราะห์ภาพของไลบรารี ARToolkit โดยนำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการพื้นฐาน ซึ่งเป็นค่าคงที่และวิธีของ Ostu ในการติดตามเครื่องหมายเออาร์ชนิดหลายเครื่องหมาย(Multi-marker) ภายใต้ สภาพแวดล้อมที่มีความสว่างแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถปรับปรุงวิธีการพื้นฐานของไลบรารีดังกล่าวได้ [9]

Wagner, Rashid, Henrysson, Owal, [10-12] ได้ศึกษาวิจัยในด้านแอปพลิเคชันในการทำงานโดยอาศัยการติดตามเครื่องหมายของไลบรารี ARToolkitplus และ ARToolkit ผลการทดลองพบว่า การประยุกต์โดยใช้ไลบรารีดังกล่าว สามารถติดตามได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ [10-12]

Deniel [13] ได้ทำการวิจัยผลของความแม่นยำในการติดตามพื้นฐานโดยอาศัยเครื่องหมายเออาร์ ในการทดลองได้พัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้ฟังก์ชันในการคำนวณการแปลงภาพ 2 มิติให้เป็น 3 มิติ (Pose estimate) และการวิเคราะห์ภาพของไลบรารี ARToolkit โดยนำเครื่องหมายเออาร์มาทดลองความผิดพลาดในการติดตาม ซึ่งใช้การปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างกล้องและเครื่องหมายเออาร์ ตั้งแต่ 20-100 เซนติเมตร และทดลองด้วยการหมุนเครื่องหมายรอบๆ แกน Y ตั้งแต่ 0-85 องศา ในขณะที่กำหนดมุมรอบแกน X และแกน Z คงที่หรือมีค่า เท่ากับ 0 องศา ผลการทดลองพบว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการคำนวณระยะทางของไลบรารี ARToolkit ตั้งแต่ 20-70 เซนติเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) น้อยสุด ตั้งแต่ 20-50 เซนติเมตร สำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการคำนวณมุมของไลบรารี ARToolkit ตั้งแต่ 30-40 องศา และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยสุด คือ ตั้งแต่ 40-85 องศา นอกจากนี้ยังพบว่า ได้ช่วงระยะที่เป็นช่วงวิกฤตในการเกิดความผิดพลาดในการติดตาม และการคำนวณ ซึ่งสามารถเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปใช้ได้ เพื่อลดความผิดพลาดและทำให้การติดตามมีความแม่นยำขึ้น [13]

JiaJun [14] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิควิธีการในการติดตามเครื่องหมายเออาร์เพิ่มเติมของไลบรารี ARToolkitPlus เพื่อทำการแก้ปัญหาการติดตามเครื่องหมายในกรณีที่มีความต้องการใช้งานในสถานที่หรือบริเวณที่มีขนาดเนื้อที่กว้างขวาง เช่น โรงซ่อมบำรุงรถยนต์ของเครื่องบิน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ

เทคนิคใหม่ด้วยการใช้กล้อง 2 ตัวในการติดตามโดยกล้องตัวที่ 1 ซึ่งติดตั้งบนศีรษะ ซึ่งทำหน้าที่ติดตามเครื่องหมายเออาร์ จำนวน 48 ตัว ที่ติดตั้งไว้บริเวณเพดาน ส่วนกล้องอีกตัวทำหน้าที่ในการติดตามสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยนำตำแหน่งที่ได้จากกล้องทั้ง 2 ตัว มาคำนวณตำแหน่งที่ใช้ในการอ้างอิงร่วมกัน ผลการทดลองพบว่าเทคนิควิธีการดังกล่าวมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์และช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าระบบการติดตามอื่นๆที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน [14]

Jonghoon Seo. [15] ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับแก้ปัญหาการกำหนดจุดมุมรอบเครื่องหมายและการปิดกั้น ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่อีกปัญหาของการติดตามพื้นฐานโดยอาศัยเครื่องหมายเออาร์ การทดลองอาศัยการปรับการคำนวณด้วยการใช้วิธีการ Multiple keypoints โดยใช้ไลบรารี ARToolkit และ ARToolkitPlus เพื่อใช้ในการคำนวณและลดการสร้างตำแหน่งของจุดรอบเครื่องหมายใหม่ ซึ่งใช้การวัดค่าความผิดพลาดที่ 100 เฟรม ผลการทดลองพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากบางเงื่อนไขพิเศษในการคำนวณและลดการสร้างตำแหน่งของจุดรอบเครื่องหมายใหม่ [15]

งานวิจัยข้างต้นพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ของการติดตามโดยอาศัยเครื่องหมายเออาร์ คือ กระบวนการติดตาม การวิเคราะห์ภาพ การคำนวณมุมจุดรอบเครื่องหมาย การถูกปิดกั้นเครื่องหมาย โดยการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องหมายชนิดหลายเครื่องหมายของไลบรารีมาตรฐาน เช่น ARToolkit, ARToolkitPlus, ARLib และ ARTag

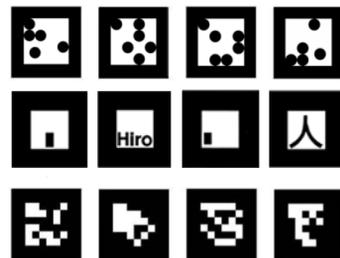
อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของความส่องสว่างเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญในการติดตาม เนื่องจากการทำค่าขีดแบ่งจะพิจารณาจากค่ากราฟแสดงค่าความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการติดตามของไลบรารี ARToolkit ที่ใช้ค่าขีดแบ่งเป็นค่าคงที่ ซึ่งใช้ได้

เฉพาะในสภาวะที่มีความส่องสว่างคงที่เท่านั้น แต่ในกรณีความส่องสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่ากราฟแสดงค่าความถี่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าขีดแบ่งของไลบรารีนี้เป็นค่าคงที่ จึงไม่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ โดยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นการหาระดับค่าขีดแบ่งที่ดีหรือค่าที่เหมาะสม และช่วยลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์หลัง รวมทั้งการจัดระเบียบข้อมูลให้เป็นกลุ่มได้ดีขึ้น

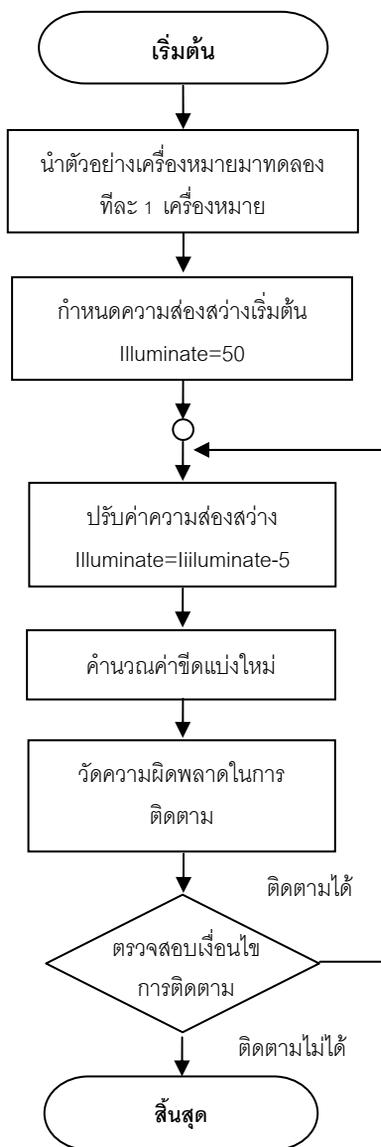
นอกจากนี้ในประเด็นความส่องสว่างที่มีปริมาณความส่องสว่างต่ำ ระยะทางที่มีการเปลี่ยนแปลง และเครื่องหมายเดียวพบว่า ยังไม่มีผู้ที่ศึกษาวิจัยในประเด็นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา และพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ในการติดตามเครื่องหมาย โดยใช้วิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติสำหรับการติดตามเครื่องหมายเออาร์ ทดลองภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่าง และระยะทางที่มีการเปลี่ยนแปลง

3. วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทดลองเพื่อศึกษา และพัฒนาโดยใช้วิธีการเลือกระดับขีดแบ่งอัตโนมัติสำหรับการติดตามเครื่องหมายเออาร์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการติดตาม โดยนำเครื่องหมายเออาร์มาตรฐานชนิดเครื่องหมายเดียว (Single marker) จำนวน 12 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์มาตรฐาน [5, 7, 16]



รูปที่ 5 ผังวิธีการทดลองการติดตามเครื่องหมาย

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับทดสอบการติดตามอาศัยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยใช้ฟังก์ชันและค่าพารามิเตอร์พื้นฐานอ้างอิงกับไลบรารี ARTToolkit[7]ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมใหม่ในส่วนของกระบวนการติดตามเครื่องหมายเออาร์(marker detection) โดยในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับทดสอบการติดตามด้วยวิธีการขีดแบ่ง 3 วิธีคือ วิธีการขีดแบ่งคงที่ วิธีการขีดแบ่งครอบคลุม และวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการ

ติดตาม ภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่าง และระยะทาง โดยมีขั้นตอนการทดลองการติดตาม ดังรูปที่ 5 สำหรับการกำหนดและวัดค่าความส่องสว่างด้วยลักซ์มิเตอร์ โดยเริ่มต้นที่ 50 ลักซ์ เนื่องจากเป็นช่วงค่าขีดแบ่งต่ำกว่า 100 (ค่าขีดแบ่งคงที่) ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดปัญหาในการติดตามและปรับค่าความส่องสว่างลดลงครั้งละ 5 ลักซ์ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันมากที่สุดทุกๆ ครั้งที่ปรับ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

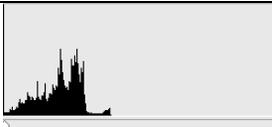
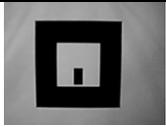
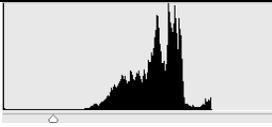
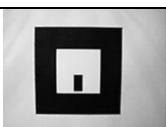
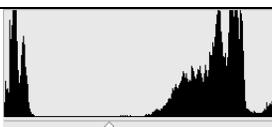
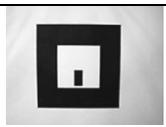
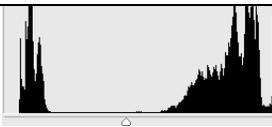
การทดลองเพื่อพัฒนาวิธีการใหม่ โดยใช้วิธีการเลือกระดับขีดแบ่งอัตโนมัติสำหรับการติดตามเครื่องหมายเออาร์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการติดตาม โดยนำเครื่องหมายเออาร์ชนิดเครื่องหมายเดียวจำนวน 12 ตัวอย่าง มาทดลองกับโปรแกรมสำหรับทดสอบการติดตามเครื่องหมายเออาร์ทั้ง 3 วิธี ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การติดตามภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่าง

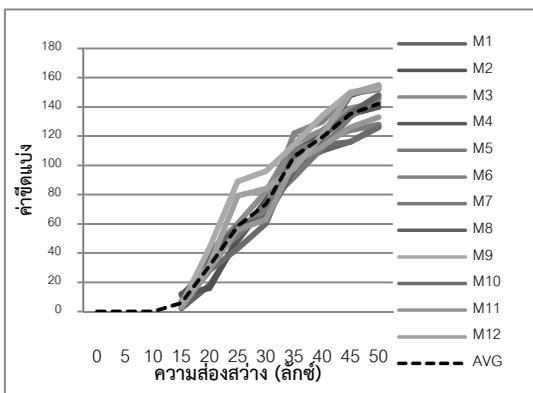
จากการทดลองนำตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์จำนวน 12 ตัวอย่างมาทดลองการติดตามเครื่องหมายเออาร์กับวิธีการดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างที่ได้กำหนดไว้ ผลจากการทดลองพบว่า ช่วงความส่องสว่างเฉลี่ยที่สามารถติดตามตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมดเริ่มต้นตั้งแต่ 15 ลักซ์ขึ้นไป

นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมและการขีดแบ่ง โดยนำตัวอย่างเครื่องหมายเออาร์จำนวน 12 ตัวอย่างมาทดลองการติดตามเครื่องหมายเออาร์ กับวิธีการดังกล่าว พบว่าค่าขีดแบ่งเปลี่ยนแปลงตามความส่องสว่าง ซึ่งวิธีการเลือกค่าขีดแบ่งอัตโนมัติยังสามารถติดตามตัวอย่างเครื่องหมายได้ทั้งหมด ในขณะที่วิธีการขีดแบ่งครอบคลุมสามารถติดตามได้ที่ความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุดได้เพียง 2 ตัวอย่างเครื่องหมายเท่านั้น และวิธีขีดแบ่งคงที่ไม่สามารถติดตามได้ เนื่องจากค่าขีดแบ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามความส่องสว่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ภาพฮิสโตแกรมเปรียบเทียบค่าขีดแบ่งทั้ง 3 วิธีภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างที่เปลี่ยนแปลง

เฟรมนำเข้าของ ตัวอย่างเครื่องหมาย	ความส่อง สว่าง(ลักซ์)	ภาพฮิสโตแกรม	ผลการขีดแบ่ง		
			วิธี ATLS	วิธี GT[8]	วิธี FT[7]
	15			-	-
	25				-
	35				-
	45				-

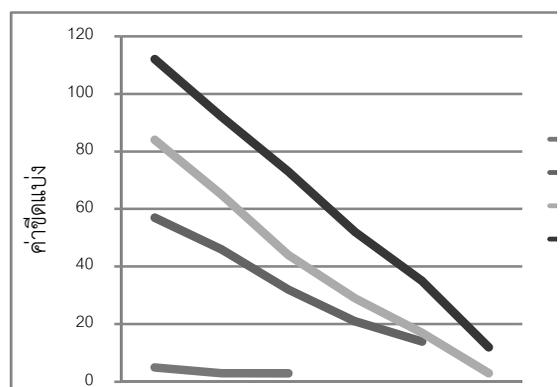
สำหรับอัตราค่าขีดแบ่งของตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมดแปรผันโดยตรงตามความส่องสว่างเช่นเดียวกับกับวิธีการครอบคลุม ซึ่งเงื่อนไขความส่องสว่างต่ำสุดที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ทุกตัวอย่างเครื่องหมาย เท่ากับ 15 ลักซ์ และค่าขีดแบ่งเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 5.92 และค่าขีดแบ่งสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 142.08 ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งวิธีการเลือก ระดับขีดแบ่งอัตโนมัติกับความส่องสว่าง

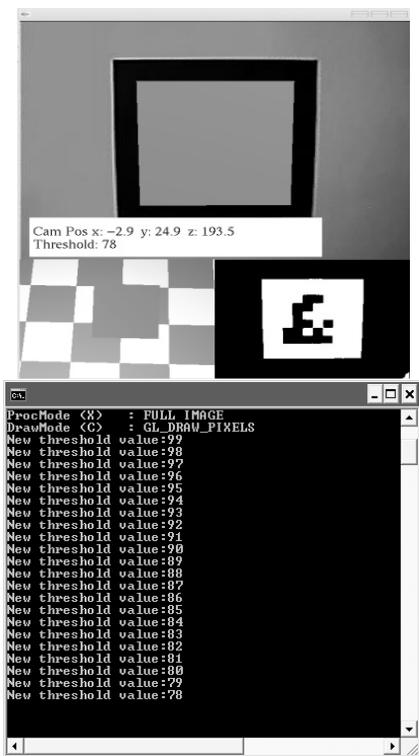
4.2 การติดตามภายใต้เงื่อนไขระยะทาง

นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะทางจะแปรผันโดยตรงกับความส่องสว่างทุกช่วง ในขณะที่ระยะทางของทุกช่วงความส่องสว่างแปรผกผันกับค่าขีดแบ่งของตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมด และช่วงความส่องสว่าง เท่ากับ 15 ลักซ์ มีระยะทางที่สามารถติดตามได้มากที่สุด เท่ากับ 350 มิลลิเมตร ในขณะที่ช่วงความส่องสว่างเท่ากับ 35-45 ลักซ์ มีระยะทางที่สามารถติดตามได้มากที่สุด เท่ากับ 500 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดแบ่งวิธีการเลือกค่าขีดแบ่งอัตโนมัติกับระยะทาง

เมื่อนำค่าขีดแบ่งที่ได้จากการทดลองมาปรับค่าขีดแบ่ง เพื่อใช้สำหรับทดสอบการติดตามและการประมวลผลกราฟิกทั้งหมด 3 วิธีการ ภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้ง 4 ช่วงมีผลการทดลองการประมวลผล ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดลองการติดตามและการประมวลผลเครื่องหมายเออาร์

นอกจากนี้ เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่งและความส่องสว่างของวิธีการเลือกค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่า ค่าขีดแบ่งมีค่า $p=0.000 < \alpha=0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แสดงว่า ค่าขีดแบ่งโดยใช้ความส่องสว่างทั้ง 4 ช่วงทุกคู่ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. สรุป

การทดลองการติดตามเครื่องหมายเออาร์ด้วย 3 วิธีการ ภายใต้เงื่อนไขความส่องสว่างพบว่า วิธีการที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ดีมากที่สุด ได้แก่ วิธีการเลือกระดับขีดแบ่งอัตโนมัติ และวิธีการขีดแบ่งครอบคลุม ตามลำดับ และมีอัตราค่าขีดแบ่งของตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมดแปรผันโดยตรงตามความส่องสว่าง ขณะที่วิธีการค่าขีดแบ่งคงที่มีค่าขีดแบ่งคงที่จึงไม่สามารถติดตามได้ภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว รวมทั้งยังพบว่า วิธีการเลือกระดับขีดแบ่งอัตโนมัติ มีค่าขีดแบ่งเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 5.92 และยังสามารถติดตามตัวอย่างเครื่องหมายได้ทั้งหมด ในขณะที่วิธีการขีดแบ่งครอบคลุมสามารถติดตามได้ที่ความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุดได้เพียง 2 ตัวอย่างเครื่องหมายเท่านั้น

การทดลองการติดตามเครื่องหมายเออาร์ด้วย 3 วิธีการ ภายใต้เงื่อนไขระยะทางพบว่า วิธีการที่สามารถติดตามเครื่องหมายเออาร์ได้ดีมากที่สุด ได้แก่ วิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ และวิธีการขีดแบ่งครอบคลุม ตามลำดับ โดยทั้ง 2 วิธีการระยะทางจะแปรผันโดยตรงกับความส่องสว่างทุกช่วง ในขณะที่ระยะทางของทุกช่วงความส่องสว่างแปรผกผันกับค่าขีดแบ่งของตัวอย่างเครื่องหมายทั้งหมด ซึ่งวิธีการวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ สามารถติดตามได้ทุกช่วงความส่องสว่าง และได้ระยะทางดีกว่า 2 วิธีการ เนื่องจากสามารถคำนวณค่าขีดแบ่งได้เหมาะสมกว่า กล่าวคือ ช่วงความส่องสว่าง เท่ากับ 15 ลักซ์ พบว่า มีระยะทางที่สามารถติดตามได้มากที่สุด เท่ากับ 350 มิลลิเมตร และช่วงความส่องสว่าง เท่ากับ 35-45 ลักซ์ มีระยะทางที่สามารถติดตามได้มากที่สุด เท่ากับ 500 มิลลิเมตร ขณะที่วิธีการค่าขีดแบ่งคงที่มีค่าขีดแบ่งคงที่ จึงไม่สามารถติดตามได้ภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว นอกจากนี้ เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหา

ความสัมพันธ์ของค่าขีดแบ่งและความส่องสว่างทั้ง 2 วิธีการ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พบว่า ค่าขีดแบ่งมีค่า $p=0.000 < \alpha=0.05$ ค่าขีดแบ่งโดยใช้ความส่องสว่างทั้ง 4 ช่วงทุกคู่ ได้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ดังนั้นวิธีการเลือกระดับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ จึงเป็นวิธีการใหม่ที่สามารถปรับค่าขีดแบ่งได้โดยอัตโนมัติตามความส่องสว่าง และระยะทางที่มีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการติดตามเครื่องหมายได้ดีกว่าทั้ง 2 วิธี ทั้ง 2 เงื่อนไข และสามารถนำมาแก้ไขปัญหาของค่าขีดแบ่งคงที่ของไลบรารี ARToolkit [7] ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดตาม การประมวลผลได้ดี และมีความต่อเนื่องขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dam, A. Van., Forsberg, A., Laidlaw, D., Laviola, J. & Simpson, R. Immersive VR for scientific visualization. A Progress Report IEEE Computer Graphics and Applications; 2000;20(6): 26-52.
- [2] Donald Hearn, M. Pauline Baker. Computer graphics with OpenGL. Peason Prentice. New Jersey: USA; 2004.
- [3] Silva, R., Oliveira, C. & Giralddi, A. Introduction to Augmented Reality. 2001;S.I.: s.n.
- [4] Claudio Kirner, Member IEEE, Ezequiel R. Zorzal and Tereza G. Kirner. Case studies on the development of game using Augmented Reality [online] 2006 March [cited 2006 March]. Available from: URL: <http://www.mendeley.com/research/case-studies-development-games-using-augmented-reality/>
- [5] aniel Diggins. ARLib: A C++ Augmented Reality software development kit [MSc Thesis]. Computer Animation N.C.C.A Bournemouth University; 2005.
- [6] Hirokazu, Kato & Billinghurst, Mark. Marker tracking and HMD calibration for a video-based Augmented Reality conferencing system. Augmented Reality; 1999. (IWAR '99) Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop; 1999. p. 85-94.
- [7] Hirokazu, Kato, Mark Billinghurst & Iran Poupayrev. Virtual object manipulation on a table-top AR environment. Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality(ISAR'2000); 2000. p. 111-119.
- [8] Gonzalez, R. C. et al. Digital image processing: in Chapter 10, 2nd ed. S.I.: Prentice Hall; 2004.
- [9] Xiaohu Ma, Gang Shi, Hongbo Tian. Adaptive threshold algorithm for multi-marker augmented reality system. VRCAI '10 Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry, New York, USA, p. 71-74.
- [10] D. Wagner and D. Schmalstieg. ARToolkit Plus for pose tracking on mobile Devices. Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop(CVWW); 2007, 2, 15, p. 6-8.
- [11] Henrysson A, Billinghurst M. and Ollila M.Face to face collaborative AR on mobile phones. Proceedings of the Fourth IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR. IEEE Computer Society; Washington DC; 2005. p. 80-89.

- [12] Owl, A. LightSense: Enabling spatially aware handheld interactive devices. Proceedings of ISMAR 2006 IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality; Oct 22-25; Santa Barbara: CA; 2006, p. 119-122.
- [13] Deniel, F. Abawi and Joachim Bienwald. Accuracy in optical tracking with fiducial markers: An accuracy function for ARToolkit. Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004); 2004.
- [14] Jia Jun, Qi Yue, and Zuo Qing. An extended marker-base tracking system for Augmented Reality. In: 2010 Second International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Method. China: Beihang University; 2010. p. 94-97.
- [15] Jonghoon Seo, Jinwook Shim, Ji Hye Choi, James Park and Tack-don Han. Enhancing marker-based AR technology. Virtual and Mixed Reality, Part I, HCII(2011); 2011. p. 97-104.
- [16] Mark, Fiala. ARTag Rev2h. Institute of Information Technology. Canada: NRC; 2006.