

**การพัฒนาซอฟต์แวร์ของระบบกล้องหลายตัวบนพีซีคลัสเตอร์
สำหรับการติดตามใน 3 มิติแบบเวลาจริง**
**Software Development of a Multi-Camera System on a PC-Cluster
for Real-Time 3-D Tracking**

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และ พงศกร บำรุงไทย*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

* ติดต่อ: โทรศัพท์ 0 2218 6585, โทรสาร 0 2218 6583

E-mail: Viboon.S@eng.chula.ac.th, pedpunsri@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบติดตามวัตถุใน 3 มิติโดยใช้กล้องหลายตัว โดยออกแบบให้มีสถาปัตยกรรมแบบควบคุมจากเครื่องศูนย์กลางสำหรับทำงานบนพีซีคลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลในการติดตามวัตถุแบบเวลาจริง โดยประกอบด้วยโปรแกรมประยุกต์ 2 ประเภท ได้แก่ โปรแกรมควบคุมและโปรแกรมเซอร์วิส มอดูลการประมวลผลซึ่งทำงานอยู่ภายในโปรแกรมประยุกต์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบในแต่ละส่วนย่อย ได้แก่ มอดูลกล้อง มอดูลคลัสเตอร์ มอดูลการสอบเทียบกล้อง มอดูลการคำนวณพิกัด 3 มิติ และมอดูลการควบคุม ในการทดลองบนพีซีคลัสเตอร์ที่ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์สองเครื่องในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมเปลี่ยนแปลงแสง 3 และ 4 อันซึ่งใช้แขนกลมิติซูบิซี PA10-7C สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ พบว่าซอฟต์แวร์สามารถจำแนก ติดตาม และคำนวณพิกัด 3 มิติของแต่ละวัตถุได้อย่างถูกต้อง โดยมีความถี่สูงสุดของระบบในการติดตามที่ 14 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการพัฒนาอัลกอริทึมการคำนวณพิกัดและอัลกอริทึมการติดตามวัตถุที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และปรับปรุงการเขียนโปรแกรมให้ทำงานดีขึ้น

คำหลัก: การพัฒนาซอฟต์แวร์, ระบบกล้องหลายตัว, พีซีคลัสเตอร์, การติดตามวัตถุแบบเวลาจริง

Abstract

This paper presents software development for system operations control of a 3-D tracking system by using multiple cameras. This software has been designed with centralized server architecture for processing on a PC-cluster to improve real-time processing performance. It consists of two types of application software: control application and service application. Processing modules inside application software have been developed for specific system operation, including camera module, cluster module, camera calibration module, 3-D reconstruction module, and control module. The experiments have been performed on a two-computer PC-cluster for tracking 3 and 4 active spherical objects with motion

generated by using Mitsubishi PA10-7C robotic arm. The results show that software can identify, track, and reconstruct 3-D coordinates of each object correctly with maximum frequency 14 Hz. Improvement can be achieved by development of more efficient reconstruction and tracking algorithm and software's implementation fine tuning.

Keywords: Software development, Multi-camera system, PC-cluster, Real-time tracking

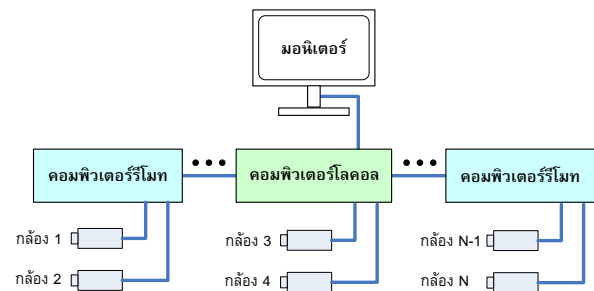
1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบกล้องหลายตัวที่ทำงานบนพีซีคลัสเตอร์ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสงโดยใช้แผ่นวงจรเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างบัสพีซีไอ เพื่อใช้ในการติดตามวัตถุหลายอันใน 3 มิติแบบเวลาจริง โดยการพัฒนาประกอบด้วย การออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการทำงานบนพีซีคลัสเตอร์ การออกแบบโปรแกรมประยุกต์สำหรับคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องภายในระบบ การออกแบบมอดูลการประมวลผลสำหรับการทำงานในแต่ละส่วนย่อยของระบบ และการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อใช้ในการควบคุมระบบ

2. สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

พีซีคลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยคอมพิวเตอร์สองประเภท ประเภทที่หนึ่งได้แก่คอมพิวเตอร์โลคอล ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดในระบบ ควบคุมกระบวนการติดตามวัตถุ และปรับตั้งค่าของกล้องและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดและการทำงานในกระบวนการต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่อยู่ในระบบ ประเภทที่สองได้แก่ คอมพิวเตอร์รีโมท มีหน้าที่ในการควบคุมกล้องที่เชื่อมต่ออยู่กับเครื่องนั้นถ่ายภาพ ตรวจสอบวัตถุ และติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โลคอลเพื่อส่งข้อมูลที่จำเป็นต่อการประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการติดตามวัตถุ แผนภาพโครงสร้างของพีซีคลัสเตอร์แสดงดังรูปที่ 1

ในการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบคลัสเตอร์ได้กำหนดให้สามารถมีคอมพิวเตอร์โลคอลได้เพียงเครื่องเดียวในระบบเนื่องจากทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง



รูปที่ 1 โครงสร้างของพีซีคลัสเตอร์

ของระบบ ส่วนเครื่องรีโมทสามารถมีได้หลายเครื่องเพื่อให้สามารถขยายระบบต่อไปได้ โดยเมื่อมีกล้องที่ต้องการจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบก็สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องรีโมทได้ โดยในคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องสามารถเชื่อมต่อกล้องได้มากกว่าหนึ่งตัวขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นๆ ในการรองรับการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากกล้องทั้งหมดที่กำลังเชื่อมต่ออยู่ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างพีซีคลัสเตอร์จำนวนสองเครื่องซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์โลคอลหนึ่งเครื่อง และคอมพิวเตอร์รีโมทหนึ่งเครื่อง โดยแต่ละเครื่องเชื่อมต่อกับกล้องสองตัว

3. การออกแบบโปรแกรมประยุกต์

ในการทำงานของพีซีคลัสเตอร์ที่ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์หลายเครื่องที่ทำงานร่วมกันจำเป็นต้องมีโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของแต่ละเครื่อง โดยการออกแบบโปรแกรมประยุกต์สำหรับการใช้งานในแต่ละเครื่องขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบ เนื่องจากสถาปัตยกรรมของระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบรวมศูนย์ (centralized system) ซึ่งมีคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดในภาพรวม และมีการกระจายภาระการประมวลผลบางส่วนไปประมวลผลยังเครื่องต่างๆ อย่างเป็นอิสระ ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบให้มีโปรแกรมประยุกต์สองประเภท

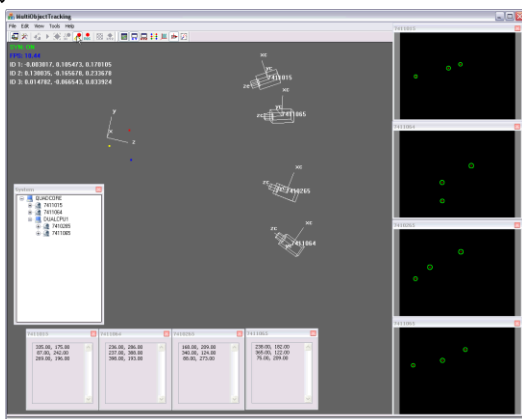
ได้แก่ โปรแกรมเซอร์วิสและโปรแกรมควบคุม

3.1 โปรแกรมเซอร์วิส

โปรแกรมเซอร์วิสเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานในเบื้องหลังของระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์ ซึ่งจะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์รีโมททั้งหมดเนื่องจากใช้ทรัพยากรของระบบน้อยกว่าโปรแกรมประยุกต์ทั่วไป และไม่มีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) โดยภายในโปรแกรมเซอร์วิสจะมีมอดูลการประมวลผลสำหรับการควบคุมกล้องและการตรวจหาวัตถุ และมอดูลสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างพีซีเท่านั้น

3.2 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมใช้สำหรับคอมพิวเตอร์โลคอลทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด รวมทั้งโปรแกรมเซอร์วิสที่อยู่ในเครื่องรีโมททุกเครื่องเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้ สามารถส่งคำสั่งในการถ่ายภาพ ตรวจหาวัตถุ และปรับตั้งค่าของกล้องและพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณในกระบวนการต่างๆ โดยใช้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (graphical user interface) เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรมสามารถแสดงภาพที่ถ่ายได้จากกล้อง ตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจพบในภาพ และสามารถแสดงผลการติดตามวัตถุเป็นแบบกราฟิก 3 มิติได้ โปรแกรมควบคุมที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 2 โดยทั้งโปรแกรมควบคุมและโปรแกรมเซอร์วิสเขียนขึ้นด้วยภาษาซีพลัสพลัส โดยใช้ไมโครซอฟท์วิชวลสตูดิโอ 2005 ทำงานบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์เอ็กซ์พี



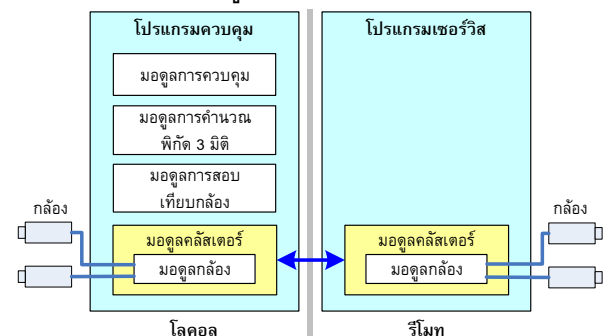
รูปที่ 2 โปรแกรมควบคุม

4. มอดูลการประมวลผล

ภายในโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วยมอดูลการประมวลผลเพื่อใช้ในการประมวลผลส่วนต่างๆ ซึ่งจากการจำแนกการทำงานของระบบออกเป็นประเภทต่างๆ สามารถนำมาออกแบบมอดูลการประมวลผลของระบบซึ่งแบ่งออกเป็น 5 มอดูลได้แก่

- 1) มอดูลกล้อง
- 2) มอดูลคลัสเตอร์
- 3) มอดูลการสอบเทียบกล้อง
- 4) มอดูลการคำนวณพิกัด 3 มิติ
- 5) มอดูลการควบคุม

โครงสร้างของมอดูลการประมวลผลต่างๆ ที่อยู่ในโปรแกรมประยุกต์สำหรับพีซีคลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์สองเครื่อง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 มอดูลการประมวลผลต่างๆ ภายในโปรแกรมประยุกต์

5. การสื่อสารระหว่างพีซี

การควบคุมการสื่อสารระหว่างพีซีกระทำผ่านมอดูลคลัสเตอร์โดยใช้แพลตฟอร์ม dataBLIZZARD เป็นอุปกรณ์สำหรับการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเตรียมให้เป็นโครงสร้างข้อมูลทางโปรแกรมที่เรียกว่า เมสเสจ (message) โดยก่อนการส่งจะถูกนำไปยังเมสเสจคิว (message queue) เพื่อรอการประมวลผล

เมสเสจเป็นรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนหัวและส่วนข้อมูล ส่วนหัวของเมสเสจจะบรรยายละเอียดของ

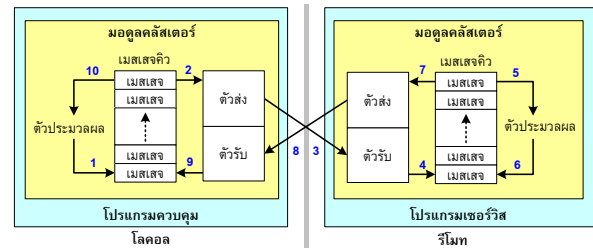
เมสเสจซึ่งประกอบด้วยผู้ส่ง ผู้รับ รหัสประจำตัวของเมสเสจ ทิศทาง ขนาดของข้อมูล และประเภทของเมสเสจ ส่วนข้อมูลของเมสเสจได้แก่ข้อมูลดิบที่ต้องการส่งไปยังผู้รับซึ่งขนาดของข้อมูลจริงในส่วนข้อมูลของเมสเสจจะต้องตรงกับที่ระบุไว้ในส่วนหัวของเมสเสจ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งเมสเสจ ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เมสเสจคำสั่ง เมสเสจตอบกลับ และเมสเสจเหตุการณ์

เมสเสจคำสั่งจะถูกส่งโดยเครื่องส่ง (transmitter) ไปยังเครื่องรับ (receiver) เพื่อสั่งการทำงาน ร้องขอค่าที่ต้องการเพื่อใช้ในการประมวลผล หรือตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์หรือสถานะของกระบวนการภายในเครื่องรับ เมื่อเครื่องรับได้รับเมสเสจคำสั่งจะตรวจสอบรหัสประจำตัวผู้รับจากส่วนหัวของเมสเสจว่าตรงกับของเครื่องรับหรือไม่ ถ้าตรงจึงทำงานตามคำสั่ง โดยหากมีค่าที่เครื่องส่งร้องขอจากคำสั่งหรือมีค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องส่ง เครื่องรับจะสร้างเมสเสจตอบกลับและส่งกลับไปยังเครื่องส่ง สำหรับเมสเสจเหตุการณ์จะถูกส่งเพื่อแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นในระบบเกี่ยวกับเหตุการณ์ในเครื่องส่งโดยไม่จำเป็นต้องมีการส่งคำสั่งร้องขอมาก่อน

เมสเสจคิวใช้ในการเก็บเมสเสจสำหรับการประมวลผล ซึ่งดำเนินการตามหลักเข้าก่อนออกก่อน (First In, First Out, FIFO) โดยที่เมสเสจคิวจะตรวจสอบทิศทางของเมสเสจก่อนการประมวลผล หากทิศทางของเมสเสจเป็นการนำเข้า เมสเสจจะถูกส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผลภายในเครื่องเพื่อประมวลผล แต่หากทิศทางของเมสเสจเป็นการส่งออก เมสเสจนั้นจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ปลายทางตามที่ระบุไว้ในส่วนหัวของเมสเสจ ลักษณะการทำงานของระบบเมสเสจในพีซีคลัสเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

6. การทดลอง

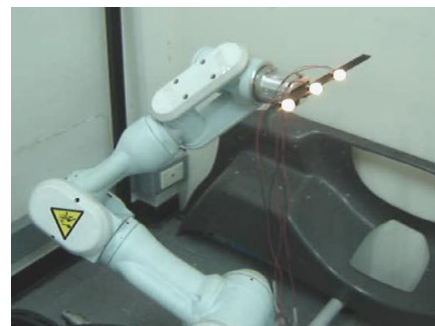
ในการทดลองที่ 1 กำหนดให้ระบบที่พัฒนาขึ้นติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมเปล่งแสง 3 และ 4 อัน ที่เคลื่อนที่โดยใช้แขนกลมิติซูบิชิ PA10-7C โดย



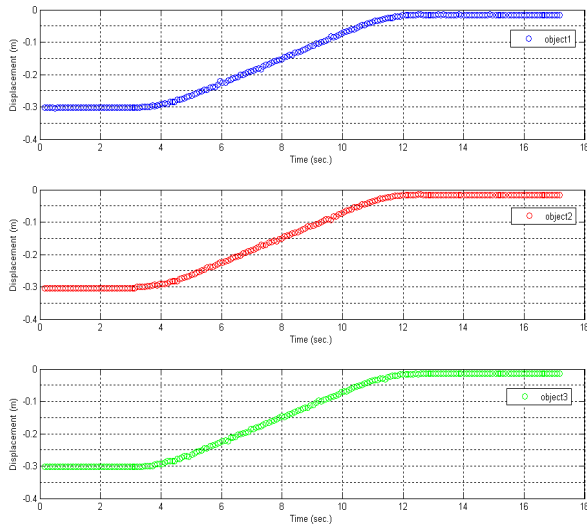
รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของระบบเมสเสจในพีซีคลัสเตอร์

แขนกลจะสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีโปรไฟล์ความเร็วแบบเส้นโค้งรูปตัวเอส (s-curve velocity profile) ในทิศทางแกน x แกน y และแกน z ตามลำดับเมื่อเทียบกับระบบพิกัดของหุ่นยนต์ วัตถุทรงกลมที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงให้วัตถุทั้งหมดอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันโดยมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมสองอันที่ติดกันประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยระยะกระจัด 300 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว ความเร่ง(และความหน่วง) ต่างๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของระบบในการคำนวณพิกัด 3 มิติของแต่ละวัตถุที่ขณะเวลาต่างๆ รวมทั้งทดสอบการจำแนกและติดตามวัตถุแต่ละวัตถุ แขนกล PA10-7C พร้อมด้วยวัตถุเป้าหมายที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 และผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6-9

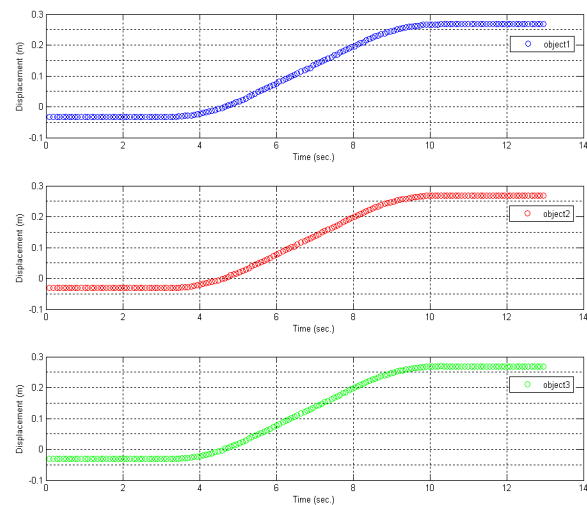
ส่วนผลการทดลองที่ 2 (รูปที่ 10-12) ได้สั่งให้แขนกล PA10-7C เคลื่อนที่พาวัตถุเป้าหมายเป็นวงกลมที่มีรัศมี 100 มิลลิเมตรในระนาบต่างๆ ได้แก่ ระนาบ xy, yz และ zx ด้วยความเร็วเชิงมุมต่างๆ



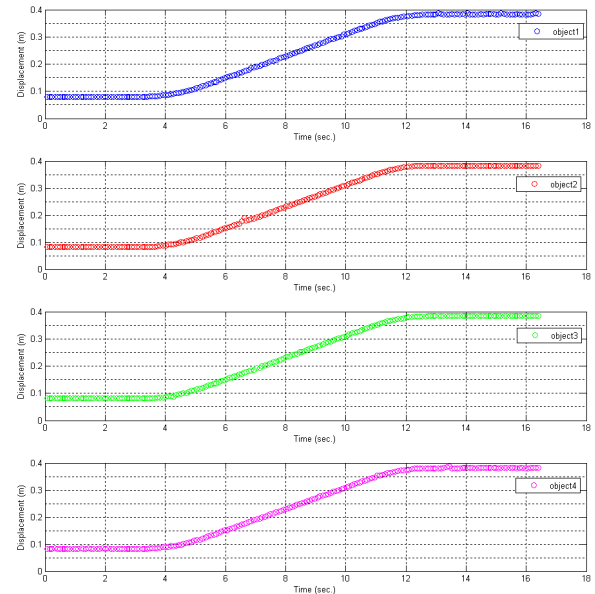
รูปที่ 5 แขนกล PA10-7C พร้อมด้วยวัตถุเป้าหมายสำหรับการติดตาม



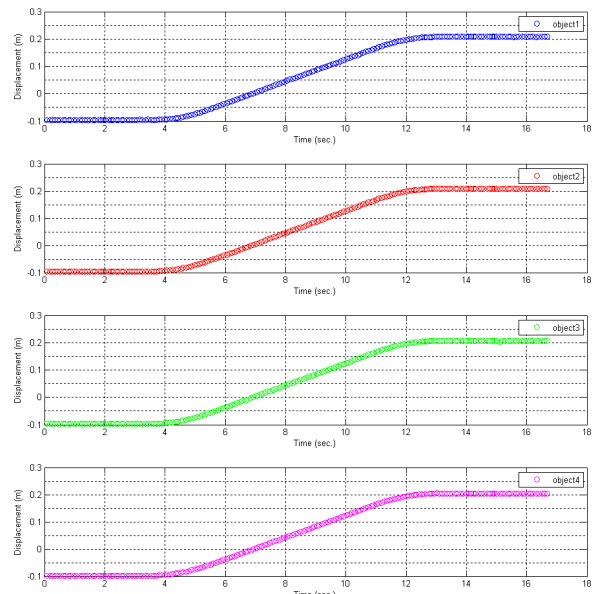
รูปที่ 6 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 3 อันเมื่อเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางแกน x ด้วยความเร่งและความหน่วง 20 มิลลิเมตร/วินาที² และความเร็ว 40 มิลลิเมตร/วินาที



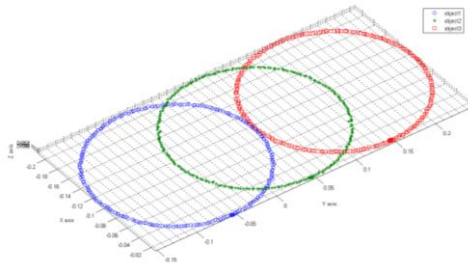
รูปที่ 7 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 3 อันเมื่อเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางแกน z ด้วยความเร่งและความหน่วง 30 มิลลิเมตร/วินาที² และความเร็ว 60 มิลลิเมตร/วินาที



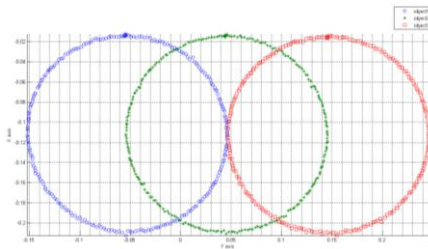
รูปที่ 8 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 4 อันที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางแกน x ด้วยความเร่งและความหน่วง 20 มิลลิเมตร/วินาที² และความเร็ว 40 มิลลิเมตร/วินาที



รูปที่ 9 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 4 อันที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางแกน z ด้วยความเร่งและความหน่วง 20 มิลลิเมตร/วินาที² และความเร็ว 40 มิลลิเมตร/วินาที

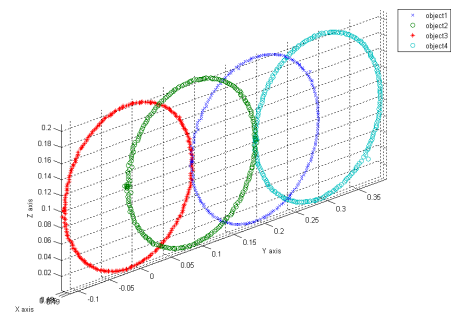


ก)

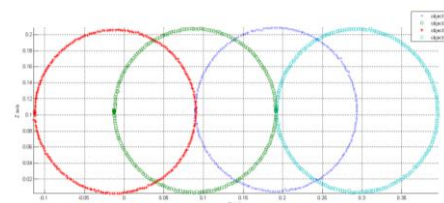


ข)

รูปที่ 10 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 3 อัน เมื่อเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบ xy ด้วยความเร็วเชิงมุม 0.05 เรเดียนต่อวินาที (ก) ภาพใน 3 มิติและ (ข) ภาพตั้งฉากกับระนาบของวงกลม

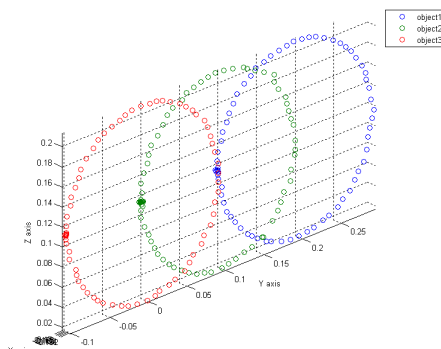


ก)

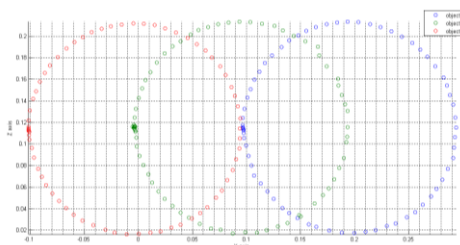


ข)

รูปที่ 12 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 4 อัน เมื่อเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบ yz ด้วยความเร็วเชิงมุม 0.05 เรเดียนต่อวินาที (ก) ภาพใน 3 มิติและ (ข) ภาพตั้งฉากกับระนาบของวงกลม



ก)



ข)

รูปที่ 11 ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จากระบบในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ 3 อัน เมื่อเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบ yz ด้วยความเร็วเชิงมุม 0.2 เรเดียนต่อวินาที (ก) ภาพใน 3 มิติและ (ข) ภาพตั้งฉากกับระนาบของวงกลม

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบกล้องหลายตัวที่ทำงานบนพีซีคลัสเตอร์ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์โดยใช้แผ่นวงจรเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างบัสพีซีไอ โดยได้ออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ โปรแกรมประยุกต์ มอดูลการประมวลผล และการรับส่งข้อมูลระหว่างพีซี เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ ผลที่ได้พบว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประมวลผลบนพีซีคลัสเตอร์ที่ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์สองเครื่องในการติดตามการเคลื่อนที่ของทรงกลมเปล่งแสง 3 และ 4 อันได้อย่างถูกต้อง โดยมีความถี่สูงสุดในการติดตาม 14 เฮิรตซ์ ซึ่งซอฟต์แวร์นี้สามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับพัฒนาต่อยอดเพื่อประยุกต์ในงานด้านต่างๆต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการศูนย์ระดับภูมิภาคเทคโนโลยีหุ่นยนต์ภายใต้โครงการเพิ่มศักยภาพด้านวิศวกรรมศาสตร์สหสาขาเพื่อพัฒนาและ

สร้างความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมศาสตร์ในระดับภูมิภาคและการเรียนการสอนไปสู่ระดับโลก ในแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (จุฬฯ 100 ปี)

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hartley, R., and Zisserman, A. (2003). *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [2] Trucco, E. and Verri, A. (1998). *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- [3] Yoshimoto, H., Date, N., and Yonemoto, S. (2003). Vision-Based Real-Time Motion Capture System using Multiple Cameras. *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 30 July-1 August 2003, pp. 247-251.
- [4] Uttamang, K., and Sangveraphunsiri, V. (2007). Multi-Camera System using PC-Cluster for Real-Time 3-D Pose Estimation, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.* 12, April-June 2007, pp. 52-63.
- [5] Sangveraphunsiri, V. and Chooprasird, K, 2009. A 3D Particle Tracking System using Stereo Vision. The 23rd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Chiang Mai.
- [6] Kurihara, K., Hoshino, S., Yamane, K. and Nakamura, Y. (2002). Optical Motion Capture System with Pan-Tilt Camera Tracking and Realtime Data Processing. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2: pp.1241-1248.
- [7] Garcia, R., Batlle, J. and Salvi, J. (2002). A New Approach to Pose Detection using a Trinocular Stereovision System, *Real-Time Imaging*, pp.73-93.
- [8] Tsai, R. (1987). A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology using Off-The-Shelf TV Cameras and Lenses, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 3. no.4, pp.323-344.
- [9] Faugeras, O. and Luong, Q. (2001). *The Geometry of Multiple Images*, MIT Press, Cambridge, MA.
- [10] Yamane, K., Kuroda, T, and Nakamura, Y., 2004. High-Precision and High-Speed Motion Capture by Combining Heterogeneous Cameras, *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Japan.