



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการพัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์
The Development of Human Motion Measure System



RCH
ศ8480
2553

b. 12700599
i.

สาขา.....
เลขทะเบียน...137840
รับเดือนปี...16 ค.ศ. 2558

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาและเพื่อประโยชน์ที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: The Development of Human Motion Measure System
Researcher: Suradej Tretriluxana
Faculty: Engineering **Department:** Electronics Engineering

ABSTRACT

Demand in human movement analysis is growing from computer animation industry to applications in sports, military and medicine. This research project is to develop a low cost human motion capture system using the optical technology. The system was built from three hi-speed cameras and integrated with the Graphic User Interface (GUI) software. Movies of the movement activity were recorded simultaneously from all cameras in different views. The positions of markers placed on the human body were detected by using the image processing software, providing the 2D coordinates in each camera. The mathematical algorithm, Direct Linear Transform (DLT), generated the 3D global coordinates from these 2D local points extracted from different angles. This result allows us to visualize the movement and measure the movement parameters, e.g. displacements, velocities and accelerations in any direction.

Our experiment result reveals that error from the back calculation of 13 known marker locations is less than 1%. Camera synchronization at the highest speed (100fps) is one of our technical difficulties. Fortunately, all cameras were operated at least 95 fps, which is applicable for gait analysis. Our future plan is to adopt this system as part of the biomedical engineering study.

Keywords: Motion Capture, Human Movement, Biomechanics, Kinesiology, Machine Vision

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดินผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้

สุรเดช ตรีไตรลักษณ์
(หัวหน้าโครงการวิจัย)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โจทย์งานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Motion Capture System) คืออะไร?.....	6
2.2 มีเทคโนโลยีใดบ้างที่ถูกนำมาใช้สร้างระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว?.....	7
2.3 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวถูกนำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง?.....	9
2.4 เทคโนโลยีที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้.....	9
บทที่ 3 การวิจัยและพัฒนา	10
3.1 การศึกษาค้นหาข้อมูลอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบ.....	10
3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ต้องใช้ในระบบ.....	13
บทที่ 4 การทดลองและเก็บข้อมูล	14
4.1 การปรับแต่ง (Calibration).....	14
4.2 การบันทึก (Image Acquisition) และประมวลผลภาพ (Image Processing).....	15
4.3 การคำนวณตำแหน่งใน 3 มิติ (2D-to-3D Converter) และแสดงผลภาพ (Image Display).....	16
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	17

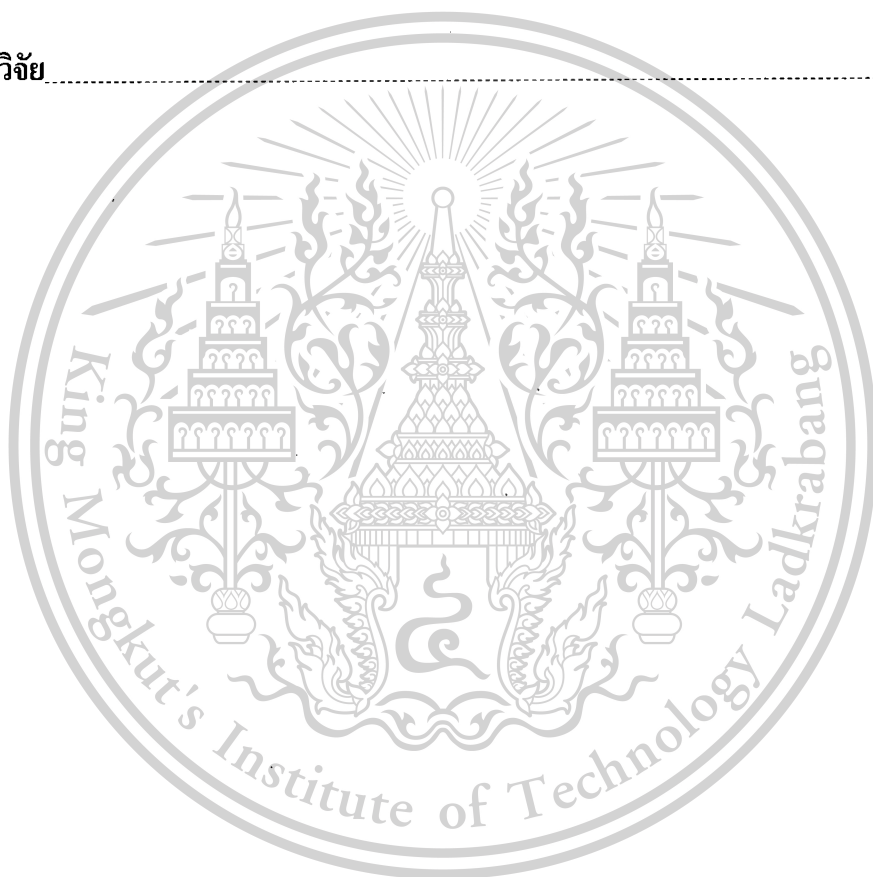
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	18
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	19
ภาคผนวก ข ภาพนักศึกษาผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยและบรรยากาศ ภายในห้องปฏิบัติการวัดและประมวลผลทางชีวการแพทย์.....	20
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	21
ประวัตินักวิจัย.....	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 Specification ของกล้อง Basler รุ่น ACE	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แนวคิดการทำงานของระบบ Computer Vision.....	4
2.1 ภาพตัวอย่างจากระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว.....	6
2.2 ภาพตัวอย่างระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวเชิงกล.....	7
2.3 ตัวอย่างของตัวส่ง (ลูกบาศก์สี่เหลี่ยม) และตัวรับ (Sensor สี่ดำ) ของระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
3.1 กล้องความเร็วสูงที่ใช้ในงานวิจัย.....	10
3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์และแผงวงจรต่อเชื่อมกับกล้องความเร็วสูง	11
3.3 ชุดอุปกรณ์ประกอบกล้องจับภาพความเร็วสูง	11
4.1 ภาพตำแหน่งอ้างอิงใช้ในขั้นตอน Calibration.....	15
4.2 ภาพตัวอย่างจากกล้องขณะกำลังทำการทดลองเดินสายพาน	15
4.3 ภาพของตำแหน่งใน 3 มิติที่คำนวณได้	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ และอธิบายวัตถุประสงค์ในภาพรวมให้เห็นถึงขอบเขตงานวิจัยและวิธีการดำเนินวิจัย, โดยจะกล่าวถึงกรอบแนวคิดวิจัย และประโยชน์ของงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับในลำดับสุดท้าย

1.1 ความสำคัญและที่มาของโทย่งงานวิจัย

การเคลื่อนไหวเป็นกิจกรรมสำคัญที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทุกคน เช่น การเดิน, วิ่ง, กระโดด, การลุกขึ้นยืน, การหยิบจับสิ่งของ เป็นต้น กิจกรรมเหล่านี้เกิดจากกระบวนการสั่งการของสมองส่วนกลาง (Central Nervous System) [1] ส่งผ่านระบบประสาทไปควบคุมระบบการเคลื่อนไหวอันประกอบด้วยกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal System) เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า (Stimulus) ความบกพร่องใดๆที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการนี้จะปรากฏให้เห็นในรูปความผิดปกติของการเคลื่อนไหวที่แสดงออกมา ดังนั้นการตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์จึงมีความสำคัญในฐานะเป็นเครื่องมือตรวจสอบการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ข้อมูลจากการตรวจวัดนี้อาจบอกถึงแผนการเคลื่อนไหว (Motor Planning) ของการทำกิจกรรมนั้นซึ่งนำไปใช้ในการรักษาฟื้นฟูผู้ป่วยที่มีความบกพร่องในการเคลื่อนไหวหรือฝึกฝนนักกีฬา [2]

การตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์นั้นมีตั้งแต่การสังเกตด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) ซึ่งเหมาะสำหรับกิจกรรมเคลื่อนไหวช้า ไปจนถึงการใช้เทคโนโลยีเช่นกล้องความเร็วสูงจับภาพการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วและซับซ้อนเช่นการกระโดด ระบบดังกล่าวนี้ยังมีใช้ในวงจำกัดเช่นหน่วยงานวิจัยหรือหรือวงการกีฬาระดับชาติ ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวมีราคาสูงมาก (หลายล้านบาท) การเคลื่อนย้าย, การติดตั้งรวมถึงการเตรียมพร้อมใช้งาน (Setup and Calibration) มีขั้นตอนมากและใช้เวลานาน และบางระบบไม่สามารถนำออกไปใช้นอกสถานที่ (Field Study) ได้ ข้อจำกัดที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการซื้อเทคโนโลยีทั้งระบบมาใช้ทำให้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานให้สอดคล้องกับความต้องการพิเศษได้โดยง่ายเพราะมีค่าใช้จ่ายและเงื่อนไขจากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายเป็นอุปสรรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์จากความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมชีวการแพทย์ (Biomedical Engineering) โดยกำหนดโจทย์ปัญหาจากความต้องการของงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว (Kinesiology) และชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) ซึ่งสาขาวิชาทั้งสองนี้มีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวของบุคคลในลักษณะต่างๆ ระบบที่จะพัฒนาขึ้นนี้จะออกแบบจากเทคโนโลยีเปิด (Open Technology) ทำให้สามารถพัฒนาต่อและปรับปรุงการใช้งานให้สอดคล้องกับความต้องการในปัจจุบันและที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตได้เอง

วัตถุประสงค์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการเปิดโอกาสให้นักศึกษาในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ที่สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ได้เข้ามาร่วมศึกษาเรียนรู้กับผู้วิจัยในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาอีกด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือพัฒนาต้นแบบระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์และทดลองเก็บข้อมูลการเดินบนสายพาน ภายในห้องปฏิบัติการวัดและประมวลผลทางชีวการแพทย์ (Biomedical Measurement and Computation Laboratory) ที่สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 วิธีการดำเนินวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยสามารถอธิบายเป็นข้อๆดังต่อไปนี้

- 1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลของอุปกรณ์บันทึกสัญญาณภาพซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ กล้องวิดีโอและอุปกรณ์แปลงและรับข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ (Video Acquisition Unit)
- 1.4.2 ศึกษาและกำหนดเป้าหมายกิจกรรม (Task) ที่จะบันทึก เช่นบันทึกลักษณะการเดิน (Gait), การลุกนั่ง (Sit to Stand), การหยิบจับสิ่งของ (Reach and Grasp) เป็นต้น ในเบื้องต้นนี้จะเลือกการเดินซึ่งกิจกรรมที่ดำเนินต่อเนื่องและใช้ส่วนของร่างกายที่มีขนาดใหญ่
- 1.4.3 เมื่อกำหนดลักษณะกิจกรรมได้แล้วจะหาข้อสรุปของขั้นตอนรายละเอียดการเก็บข้อมูล เช่น การวางกล้อง, การกำหนดจุดตำแหน่งกล้องหน้า (Marker Placement) และการเตรียมพร้อมก่อนใช้งาน (Calibration)
- 1.4.4 จัดหาอุปกรณ์บันทึกสัญญาณภาพจากข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.4.1 โดยให้ลำดับความสำคัญกับอุปกรณ์แปลงและรับข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ก่อน
- 1.4.5 พัฒนาโปรแกรมเพื่อรับสัญญาณภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ซึ่งการทดลองในเฟสนี้ต้องทำร่วมกับอุปกรณ์แปลงและรับข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์
- 1.4.6 พัฒนาโปรแกรมขั้นต่อเนื่องคือทำการประมวลผลตามที่อธิบายรายละเอียดในกรอบแนวคิดของโครงการวิจัยตั้งแต่การแยกสัญญาณภาพต่อเนื่องมาเป็นภาพนิ่งไปจนถึงการแก้ไขจุดตำแหน่ง markers ให้ถูกต้อง
- 1.4.7 เมื่อผลการหาตำแหน่งมีความแม่นยำแล้วจึงทำการทดลองเก็บข้อมูลจริง
- 1.4.8 สรุปผลการวิจัย ผลการทดลองเพื่อเขียนเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์

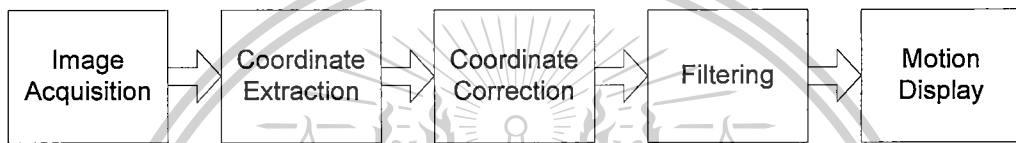
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย

แนวคิดของโครงการมาจากหลักการการทำงานของ Computer Vision ที่ได้สัญญาณจากการเก็บข้อมูลภาพ (Image Acquisition) แล้วนำมาหาค่าตำแหน่ง (Coordinates) ของส่วนต่างๆของภาพ ด้วยวิธีการกำหนดจุดตำแหน่งล่วงหน้า (Marker Placement) ซึ่งตำแหน่งที่หาได้เบื้องต้นอาจจะมีที่ผิดพลาดอยู่ จึงต้องนำมาแก้ไข (Coordinate Correction) ให้ถูกต้องอีกครั้ง และเนื่องจากข้อมูลตำแหน่งที่ได้นี้เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) จากสัญญาณภาพต่อเนื่อง (Continuous Image) จึงต้องผ่านกระบวนการกรอง (Filtering) ก่อนจะถูกนำไปแสดงผลบนจอภาพในขั้นตอนสุดท้าย กระบวนการทั้งหมดนี้สรุปแสดงเป็นแผนผัง ได้ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แนวคิดการทำงานของระบบ Computer Vision

ในทางปฏิบัติสัญญาณภาพต่อเนื่อง (movie) ที่ถูกบันทึกจะถูกแยกออกมาเป็นลำดับของภาพนิ่ง (Series of Still Images) ภาพนิ่งแต่ละภาพ (frame) จะถูกนำไปผ่านการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อหาตำแหน่งของจุดกำหนดล่วงหน้า (Markers) การทำงานในขั้นตอนนี้จะถูกพัฒนาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ทำงานโดยอัตโนมัติ เนื่องจากจะต้องทำงานลักษณะเดียวกันนี้กับทุกๆภาพซึ่งเป็นงานที่เสียเวลาและน่าเบื่อมากหากใช้แรงงานคน อย่างไรก็ตามไม่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใดสามารถหาตำแหน่งจุด markers ได้ถูกต้องทั้งหมดด้วยเงื่อนไขข้อกำหนดของโปรแกรมที่ตายตัว ดังนั้นเพื่อให้การหาค่าตำแหน่งมีความถูกต้องมากขึ้น โปรแกรมจะต้องถูกออกแบบให้มีความอ่อนตัว (Flexibility) รองรับการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณและอนุญาตให้แก้ไขผลลัพธ์ได้หากมีการคำนวณผิดพลาดเกิดขึ้น (Manual Correction) ได้

หลังจากได้รับข้อมูลตำแหน่งที่สมบูรณ์แล้ว ข้อมูลดิบเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณเป็นข้อมูลของการเคลื่อนไหวที่ต้องการเช่นระยะขจัด (Displacement), ความเร็ว (Velocity), ความเร่ง (Acceleration) ทั้งแบบเชิงเส้น (Linear Motion) และเชิงมุม (Angular Motion) ก่อนที่จะถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆกับเวลาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ในเบื้องต้นของงานวิจัยชิ้นนี้มีสองส่วนคือ

- 1.6.1 ได้ถ่ายทอดประสบการณ์การทำวิจัยและความรู้เรื่อง Human Motion Capture แก่นศ.สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ผู้วิจัยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.6.2 นำผลงานไปเผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี ซึ่งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้งานวิจัยด้านนี้เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

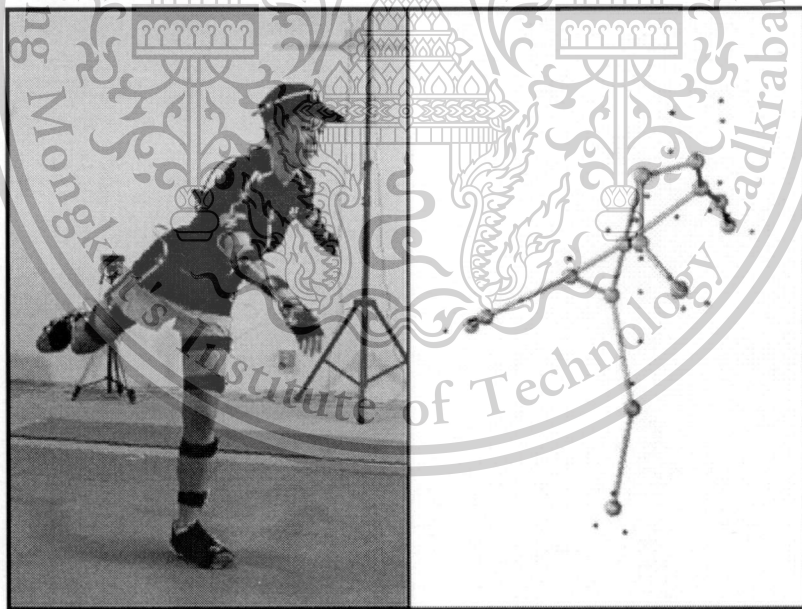
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อความเข้าใจเบื้องต้น ในบทนี้จะได้นำเสนอให้รู้จักกับระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวแบบต่างๆ, หลักการทำงานรวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงยกตัวอย่างการนำระบบเหล่านี้ไปใช้งาน (Application) และสุดท้ายจะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้

2.1 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Motion Capture System) คืออะไร?

ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวคือระบบที่ทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของสิ่งต่างๆและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่สนใจเช่น ระยะทาง (displacement), ความเร็ว (velocity), ความเร่ง (Acceleration) เป็นต้น โดยมีหลักการพื้นฐานคือการบันทึกตำแหน่งของจุดที่สนใจในแต่ละช่วงเวลา คล้ายกับการสุ่ม (Sampling) ที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวแบบที่มีจุดบอกตำแหน่ง (Marker) บนร่างกาย



ภาพที่ 2.1 ภาพตัวอย่างจากระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว

(ภาพจาก https://kalyankrishna4886.files.wordpress.com/2010/11/optical_motion_capture.png)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 มีเทคโนโลยีใดบ้างที่ถูกนำมาใช้สร้างระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหว?

เทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวตั้งแต่ในอดีตอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

2.2.1 ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้แสง (Optical Motion Capture Systems)

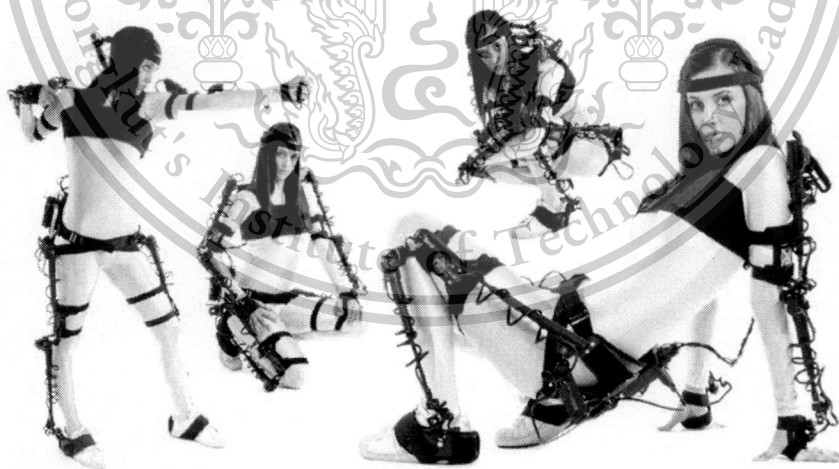
คือการใช้การตรวจจับภาพ (Image Capture) ร่วมกับตัวกำหนดตำแหน่ง (Markers) ที่วางไว้บนจุดต่างๆของส่วนที่เคลื่อนไหวดังแสดงที่เห็นตัวอย่างในภาพที่ 2.1 เป็นระบบการตรวจวัดการเคลื่อนไหวที่ได้รับความนิยมมากที่สุดแบบหนึ่ง ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านนี้ได้พัฒนาไปมาก เช่น อุปกรณ์จับภาพหรือกล้องความเร็วสูง (High Speed Camera), ชนิดของ Marker, และโปรแกรมประมวลผลภาพ (Image Processing Software)

2.2.2 ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยไม่ใช้แสง (Non-optical Motion Capture Systems)

คือระบบที่ใช้หลักการอื่นที่ไม่ใช่แสงซึ่งแยกย่อยออกได้อีก 2-3 ประเภทคือ

2.2.2.1 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวเชิงกล (Mechanical Motion Capture System)

ที่แสดงในภาพที่ 2.2 คือระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวเชิงกลที่นำโครงสร้างแบบแข็งภายนอกร่างกาย (Exoskeleton Structure) มาต่อร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดทางกลชนิดต่างๆ โดยเมื่อมีการเคลื่อนไหวอุปกรณ์ตรวจวัดก็จะเคลื่อนไหวและเปลี่ยนแปลงค่าที่อ่านออกมา เช่นค่ามุมจากการพับงอข้อศอก เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ภาพตัวอย่างระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวเชิงกล

(ภาพจาก <http://www.computerstories.net/wp-content/uploads/mechanical.motion.capture.jpg>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2.2 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Motion Capture System)

โดยการส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสามแกน (Three Orthogonal Axis) และมีตัวรับที่ติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเคลื่อนไหวทำหน้าที่เหมือนกับเสาอากาศที่วัดค่าความแรงของสัญญาณทั้งสามแกนนี้นำไปประมวลผลจะทำให้ทราบถึงระยะทาง (Range) และทิศทาง (Orientation) ระหว่างตัวรับและตัวส่ง ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) ของระบบการตรวจวัดการเคลื่อนไหวชนิดนี้ ระบบนี้เหมาะสำหรับวัดการเคลื่อนไหวที่มีการบังคับการรับภาพของกล้องซึ่งไม่สามารถใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้แสงได้ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวนี้ไม่เหมาะกับการใช้งานในกิจกรรมที่มีอุปกรณ์รบกวนการรับส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นจะต้องไม่มีโลหะหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในบริเวณการตรวจวัด



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของตัวส่ง (ลูกบาศก์สี่เหลี่ยม) และตัวรับ (Sensor สีดำ) ของระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

(ภาพจาก <http://souvrSophie.blog.com/files/2009/09/2007121017544575.jpg>)

ปัจจุบันยังมีระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวที่ใช้หลักการงานแบบอื่นๆอีก แต่ที่เริ่มเป็นที่แพร่หลายเช่น ระบบ Inertial Navigation System ที่ใช้วัดการเคลื่อนไหวโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Inertial Measurement Unit (IMU) ที่ภายในประกอบด้วย Accelerometer และ Gyroscope ส่งข้อมูลไปยังตัวประมวลผลโดยตรง ซึ่งบริษัทผู้ผลิตเครื่องเล่นเกมส์บางแห่งได้นำหลักการนี้ไปสร้างอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดการเคลื่อนไหวของผู้เล่นเกมส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวถูกนำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง?

ระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวเป็นที่รู้จักของผู้คนมากขึ้นเมื่ออุตสาหกรรมภาพยนตร์ได้นำมาใช้สร้างภาพยนตร์การ์ตูน Animation อย่างไรก็ดีระบบนี้ถูกคิดค้นมาช้านานแล้วโดยช่วงแรกมีผู้นำเทคโนโลยีการถ่ายภาพ 2 มิติมาศึกษาการเดินของมนุษย์ (Gait Analysis) นับเป็นตัวอย่างแรกๆของการประยุกต์ใช้งาน ปัจจุบันระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าไปมาก มีการนำไปใช้งานกับอุตสาหกรรมบันเทิงทั้งภาพยนตร์, เกมสื่อกอมพิวเตอร์, ทางด้านการแพทย์มีการนำระบบนี้ไปใช้นำทางการผ่าตัดให้มีความแม่นยำมากขึ้น, ด้านการกีฬา ระบบนี้ถูกนำไปใช้ศึกษาชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) ของกีฬาแต่ละประเภทเพื่อปรับปรุงให้นักกีฬามีความสามารถสูงขึ้น และทางการทหารนำระบบนี้ไปร่วมกับอุปกรณ์สร้างภาพความจริงเสมือน (Virtual Reality) เพื่อจำลองสถานการณ์สำหรับการฝึก

จะเห็นได้ว่าระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวนี้มีประโยชน์อย่างกว้างขวาง และได้รับความสนใจมากขึ้นในกิจกรรมต่างๆ ไรก็ดียังมีข้อจำกัดอีกหลายประการที่ทำให้ระบบนี้ยังเข้าถึงได้ในวงจำกัดเช่น มีราคาสูง, มีความยุ่งยากในการติดตั้งใช้งาน, ซอฟต์แวร์ของระบบที่มีความซับซ้อนซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้เกิดจากเทคโนโลยีที่นำมาใช้มีราคาสูงและระบบถูกออกแบบให้ใช้กับงานเฉพาะกลุ่มมากเกินไป

2.4 เทคโนโลยีที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้

งานวิจัยชิ้นนี้พัฒนาจากระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวที่ใช้แสง (Optical Motion Capture System) เพราะเป็นเทคโนโลยีที่หาได้ง่าย, ไม่ซับซ้อนและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้กล้องความเร็วสูง จำนวน 3 ตัว ต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและมีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลขนาดใหญ่อยู่ด้วย ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการทดลองเก็บข้อมูลการเดิน (Gait) ของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การวิจัยและพัฒนา

บทนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการพัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์ตั้งแต่การศึกษาค้นหาหาข้อมูลของอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นมาเป็นระบบและการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับใช้งานระบบ ซึ่งเป็นเสมือนหัวใจของงานวิจัยนี้

3.1 การศึกษาค้นหาข้อมูลอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบ

ขั้นแรกของการพัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์นี้คือการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในระบบ อุปกรณ์ตัวแรกที่สำคัญที่สุดคือกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง โดยผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้กล้องยี่ห้อ Basler รุ่น ACE แสดงในภาพที่ 3.1 เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กล้องความเร็วสูงที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ต่อมาคือเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงพร้อมด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลซึ่งแสดงในภาพที่ 3.2 โดยสิ่งที่วางอยู่หน้าจอภาพคือแผงวงจรพิเศษสำหรับต่อเชื่อมกับกล้องความเร็วสูงจำนวน 4 พอร์ต

การได้มาซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดนี้เริ่มจากการเสาะหากำลังที่ตรงกับความต้องการ และติดต่อหาผู้แทนจำหน่ายในประเทศ ซึ่งปกติแล้วกล้องประเภทนี้จะใช้ในงานอุตสาหกรรมจึงไม่ได้ออกแบบให้ติดตั้งอยู่บนขาตั้งกล้อง (Tripod) ได้ ดังนั้นจึงต้องจ้างช่างกลึงมาสร้าง Adaptor ให้สามารถใช้ติดตั้งบน Tripod ได้ และตัวกล้องนี้จะต้องกับ Power Supply และใช้สายเคเบิลแบบ CAT-6 ต่อเชื่อมเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ประกอบกล้องทั้งหมดได้แสดงในภาพที่ 3.3

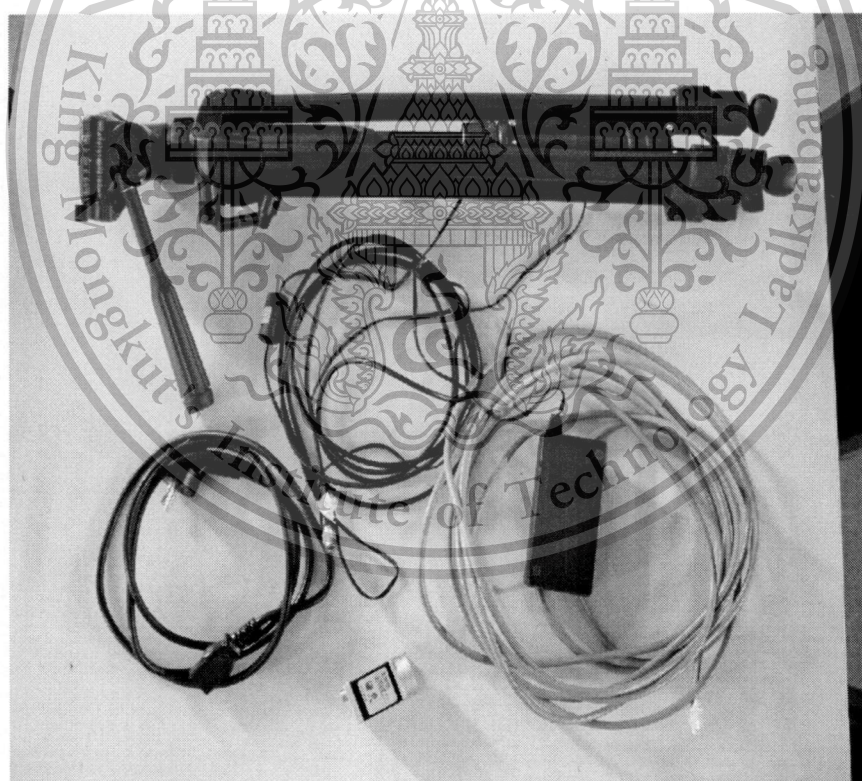
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์และแผงวงจรต่อเชื่อมกับกล้องความเร็วสูง



ภาพที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ประกอบกล้องจับภาพความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1: Specification ของกล้อง Basler รุ่น ACE

Image Resolution (Horizontal x Vertical)	640 x 480 pixels
Sensor Type	Progressive Scan CCD
Maximum Frame Rate at Full Resolution	100 fps
Interface	Fast Ethernet (100Mb/s) or Gigabit Ethernet (1000Mb/s)
Video Output Format	Mono 8, Mono 16, Mono 12 packed, YUV 4:2:2, Raw 8, Bayer BG8, Bayer BG16, Bayer BG12 packed
Len Mount	C-mount
Synchronization	Via external trigger, via the Ethernet connection, or free-run
Exposure Control	Freely programmable
Digital I/O	1 opto-isolated input, 1 opto-isolated output
Power Requirements	Via Power over Ethernet (802.3af) or +12VDC (+/- 10%) via 6-pin Hirose connector
Power Consumption (typical)	2.3 W with PoE, 2.0 W with AUX
Weight (typical)	< 90g
Housing Size (L x W x H in mm)	42 x 29 x 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ต้องใช้ในระบบ

การทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

3.2.1 ซอฟต์แวร์เพื่อการบันทึก (Image Acquisition) และประมวลผลภาพ (Image Processing)

ซอฟต์แวร์นี้จะทำหน้าที่เป็น Graphic User Interface (GUI) ควบคุมการเก็บบันทึกภาพจากกล้องทั้งสามตัวลงใน Hard Drive และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองแล้วจะทำการประมวลผลภาพซึ่งมีกระบวนการย่อยดังนี้

3.2.1.1 แยกภาพวิดีโอจากแต่ละกล้องออกมาเป็นภาพนิ่ง (Video to Still Images Converter)

3.2.1.2 หาตำแหน่ง Markers (Marker Positions Extraction)

3.2.1.3 บันทึกตำแหน่งของ Markers ที่ได้ลงในไฟล์ตารางคำนวณ (Spreadsheet File)

3.2.2 ซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณตำแหน่งใน 3 มิติ (2D-to-3D Converter) และแสดงผลภาพ (Image Display)

ซอฟต์แวร์ตัวที่สองนี้จะทำหน้าที่แปลงตำแหน่งของ Markers ในภาพ 2 มิติ จากกล้องทั้งสามตัวให้กลายเป็นตำแหน่งของ Markers ใน 3 มิติ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Direct Linear Transformation (DLT) [3] และแสดงตำแหน่ง Markers เหล่านี้ในสามมิติ เมื่อได้ตำแหน่งของ Markers ใน 3 มิติแล้ว เราจึงสามารถไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ของการเคลื่อนไหวที่ต้องการได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลองและเก็บข้อมูล

จากที่ได้อธิบายไว้ในตอนท้ายของบทที่แล้วว่ากระบวนการทำงานของระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์มี 2 ขั้นตอน แต่ก่อนจะเริ่มทำการทดลองได้นั้นจะต้องผ่านขั้นตอนที่เรียกว่า “การปรับแต่ง” (Calibration) เสียก่อน ซึ่งในบทนี้จะได้อธิบายลำดับขั้นตอนเหล่านี้ทั้งหมดตั้งแต่การทดลองจนได้ผลลัพธ์สุดท้าย

4.1 การปรับแต่ง (Calibration)

ขั้นตอนการปรับแต่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งและเป็นจุดตรวจสอบความแม่นยำของระบบ โดยอ้างอิงสมการ Direct Linear Transform สองสมการข้างล่างนี้ [4]

$$x_i + L_1 X_i + L_2 Y_i + L_3 Z_i + L_4 + L_9 x_i X_i + L_{10} x_i Y_i + L_{11} x_i Z_i = 0 \quad (1)$$

$$y_i + L_5 X_i + L_6 Y_i + L_7 Z_i + L_8 + L_9 y_i X_i + L_{10} y_i Y_i + L_{11} y_i Z_i = 0 \quad (2)$$

x_i, y_i ตำแหน่งใน 2 มิติของตำแหน่งอ้างอิงที่ i

X_i, Y_i, Z_i ตำแหน่งใน 3 มิติของตำแหน่งอ้างอิงที่ i

L_1, L_2, \dots, L_{11} ค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 11 ค่า

โดยแบ่งเป็นสองขั้นตอนย่อยดังนี้

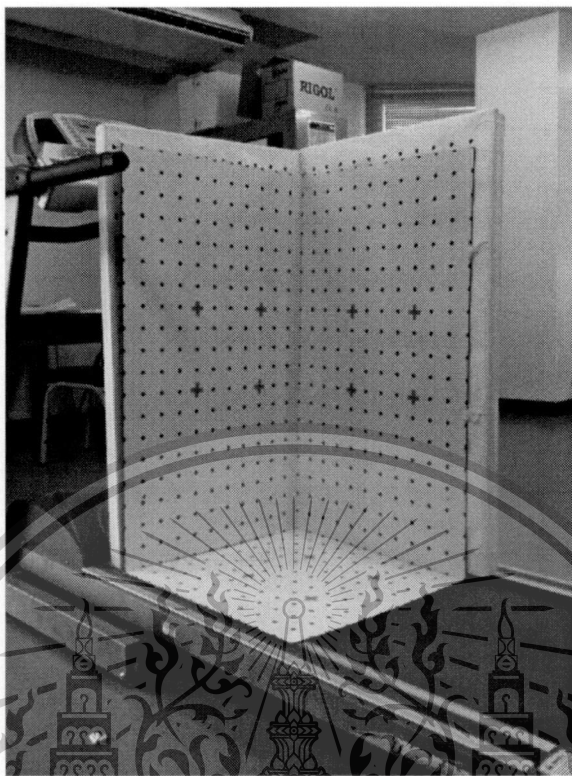
4.1.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์

โดยการนำค่าตำแหน่งใน 2 มิติจากกล้องและค่าอ้างอิงที่รู้ตำแหน่ง 3 มิติ (มีไม่น้อยกว่า 6 ตำแหน่ง) มาแทนในสมการทั้งสองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 11 ค่า

4.1.2 การคำนวณกลับหาค่าตำแหน่งใน 3 มิติ

โดยการนำค่าตำแหน่งใน 2 มิติจากกล้องและค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 11 ค่าจากข้อ 4.1.1 มาแทน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในสมการทั้งสองเพื่อคำนวณกลับหาค่าตำแหน่งใน 3 มิติ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทั้งสองนี้ต้องใช้ข้อมูลจากตำแหน่งอ้างอิงดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ภาพตำแหน่งอ้างอิงใช้ในขั้นตอน Calibration

4.2 การบันทึก (Image Acquisition) และประมวลผลภาพ (Image Processing)

โดยการให้ผู้ร่วมการทดลองติดอุปกรณ์บอกตำแหน่งลงหน้า (Markers) และเดินบนสายพานออกกำลังกาย ดังแสดงในภาพ 4.2 และบันทึกภาพพร้อมกันจากทั้งสามกล้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้วางแบบเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยอนุญาตให้วงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 4.2 ภาพตัวอย่างจากกล้องขณะกำลังทำการทดลองเดินสายพาน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

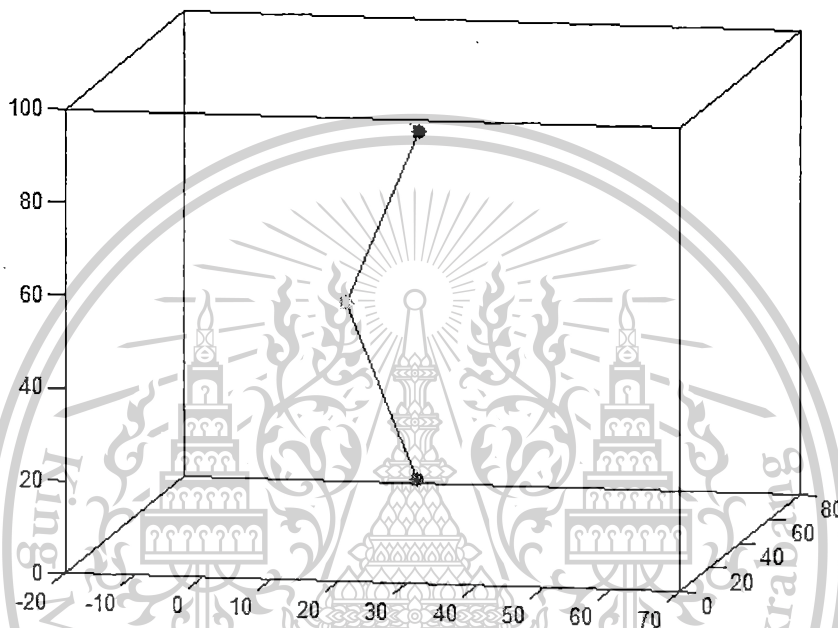
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และเมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จแล้วโปรแกรมจะหาดำแหน่ง 2 มิติของ Markers จากแต่ละภาพของกล้องทุกตัวและนำค่าตำแหน่งนั้นมาบันทึกใน Spreadsheet File

4.3 การคำนวณตำแหน่งใน 3 มิติ (2D-to-3D Converter) และแสดงผลภาพ (Image Display)

เมื่อได้ตำแหน่งใน 2 มิติของ Markers จากกล้องทุกตัวแล้ว ก็จะถูกแปลงเป็นตำแหน่งใน 3 มิติ จากสมการในข้อ 4.1 และนำข้อมูล 3 มิตินี้มาแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ภาพของตำแหน่งใน 3 มิติที่คำนวณได้

ค่าตำแหน่งใน 3 มิติเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณ parameters ของการเคลื่อนไหวเช่น ระยะทาง, ความเร็ว หรือความเร่ง ทั้งแบบเชิงเส้นและเชิงมุม ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบระบบโดยคำนวณกลับหาค่าตำแหน่งอ้างอิงของจุดอ้างอิงสำหรับการปรับแต่ง (Calibration) จำนวน 13 จุด ($n=13$) จากกล้องทั้ง 3 ตัว พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากพิกัดเดิมอยู่ประมาณ 0.6% ซึ่งถือว่าอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้

นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองคือ ไม่สามารถควบคุมความเร็วของกล้องแต่ละตัวให้เท่ากันที่ 100 Frames per Second (fps) ตลอดเวลาได้ อย่างไรก็ตามก็ดีความเร็วของกล้องทุกตัวสูงกว่า 95 fps ซึ่งยังถือว่าเพียงพอสำหรับการตรวจวัดการเดิน (Gait) ของมนุษย์

อย่างไรก็ดียังมีโอกาสพัฒนาให้ระบบมีความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น และปรับปรุงซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ประกอบการทดลองให้มีความเหมาะสมกับการตรวจวัดการเคลื่อนไหวในลักษณะอื่นได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยใช้เทคโนโลยีตรวจวัดการเคลื่อนไหวที่แบบใช้แสง (Optical Motion Capture System) โดยใช้กล้องความเร็วสูงจำนวน 3 ตัวเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงที่มีอุปกรณ์เก็บข้อมูลขนาดใหญ่เป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าด้วยงบประมาณที่น้อยกว่าระบบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เราสามารถพัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์ให้ตอบโจทย์ความต้องการของนักวิจัยในประเทศได้ ทั้งยังได้องค์ความรู้และประสบการณ์เป็นของตัวเอง

ในขั้นต่อไปผู้วิจัยจะพยายามปรับปรุงให้ระบบนี้ถูกนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมชีวการแพทย์ ทั้งด้านการพัฒนาระบบ, การเรียนการสอนและการฝึกทดลองวัดข้อมูลการเคลื่อนไหวในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Kandel, E.R., Schwartz, JH., & Jessell, TM. Principles of Neural Science, 4th edition. McGraw Hill: New York, NY, 2000.
- [2] Winter D.A., Biomechanics and Motor Control of Human Movement, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ 2005.
- [3] Y.I. Abdel-Aziz, H.M. Karara, Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry in: Proceedings of the ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana IL. 1971, pp. 1-18.
- [4] Robertson, D.G.E., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S.N., Research Methods in Biomechanics, Human Kinetics, Champaign, IL. 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ชื่อบทความ:	A Cost Effective Optical Motion Capture System
ชื่อผู้เขียน:	Wirachai Sae-lim, Kitiphol Chitsakul, Suradej Tretriluxana
ชื่องานประชุม	International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology
สถานที่จัดงาน	Swiss Hotel Le Concorde, Bangkok, THAILAND
ช่วงเวลาจัดงาน	November, 21-24, 2012



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

ภาพนักศึกษาผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยและบรรยายภาค
ภายในห้องปฏิบัติการวัดและประมวลผลทางชีวการแพทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2553

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): โครงการพัฒนาระบบตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์

(ภาษาอังกฤษ): The Development of Human Motion Measure System

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้รับทุน/ผู้วิจัย: ดร.สุรเดช ตรีไตรลักษณ์

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือนตุลาคม พ.ศ.2552 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ.2553

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ

แบ่งจ่ายเป็น 4 งวด รวมเป็นเงิน 490,000 บาท

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่าย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณที่ได้รับ (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ยอดคงเหลือ (บาท)
งบบุคลากร	0.00	0.00	0.00
งบดำเนินงาน	0.00	0.00	0.00
ค่าตอบแทน	0.00	0.00	0.00
ค่าใช้จ่าย	265,000.00	265,000.00	0.00
ค่าวัสดุ	225,000.00	225,000.00	0.00
ค่าสาธารณูปโภค	0.00	0.00	0.00
งบลงทุน ค่าครุภัณฑ์	0.00	0.00	0.00
รวม	490,000.00	490,000.00	0.00

(สุรเดช ตรีไตรลักษณ์)

หัวหน้าโครงการผู้รับทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่/ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อนาม-สกุล (ภาษาไทย) สุรเดช ตรีไตรลักษณ์
2. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 02.326.4222-3 ต่อ 238
โทรสาร 02.739.2398
Email: ktsurade@kmitl.ac.th
3. ประวัติการศึกษา
 - 2008 PhD.(Biomedical Engineering), University of Southern California,
Los Angeles, USA.
 - 2003 M.Sc (Biomedical Engineering), University of Southern California,
Los Angeles, USA.
 - 1997 M.Eng (Electrical Engineering), KMITL,
Bangkok, Thailand
 - 1992 B.Eng (Electronics Engineering), KMITL,
Bangkok, Thailand

KMITL: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
4. สาขาวิชาการที่มีความสนใจ
 - Noninvasive Medical Measurement
 - Physiological Modeling
 - Biomedical Data Analysis
 - Biomedical Signal and Image Processing
 - Human Sleep Study

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยเรื่อง Heart Rate Variability in Sleep-Disordered Breathing (Principal Investigator: Michael C.K. Khoo, PhD) ระหว่างปี 2003-2007 โดยได้รับทุนวิจัยจาก National Institute of Health (NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. รางวัลที่เคยได้รับจากผลงานวิจัย

ได้รับรางวัล EMBS Student Paper Competition Open Finalists ในหัวข้อเรื่อง Cardiac Autonomic Function in Older Adults with Sleep-Disordered Breathing จากงาน The 27th Annual International Conference of the IEEE-EMBS 2005 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 4-1 September 2005. ณ เมือง.Shanghai, China.

7. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. W. Wang, S. Tretriluxana, S. Redline, S. Surovec, D.J. Gottlieb, M.C.K. Khoo, "Association of Cardiac autonomic function measures with severity of Sleep-Disordered Breathing in a community-sample", J.Sleep Res. 17(3): 251-262, 2008.
2. S. Tretriluxana, M.C.K. Khoo, "Reduced Ultradian Modulation of autonomic control in Sleep-Disordered Breathing" Proceeding of BMES 2007, Los Angeles, California, USA p.4.133, September 26-29, 2007.
3. W. Wang, S. Tretriluxana, S. Redline, S. Surovec, D.J. Gottlieb, M.C.K. Khoo, "Sleep-Disordered Breathing and cardiac autonomic function in community-based sample: age-related differences" Proceeding of American Thoracic Society 3:A197, San Diego, California, USA. May 19-24, 2006.
4. S. Tretriluxana, S. Redline, S. Surovec, D.J. Gottlieb, M.C.K. Khoo, "Cardiac Autonomic Function in Older Adults with Sleep-Disordered Breathing" Proceeding of the 2005 EMBC, Shanghai, China, p.1103-1105, September, 1-4, 2005.
5. S. Tretriluxana, S. Redline, S. Surovec, D.J. Gottlieb, M.C.K. Khoo, "Changes in ultradian heart rate variability rhythm in sleep-disordered breathing" Sleep 28: A198-199, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A Cost Effective Optical Motion Capture System

Wirachai Sae-lim¹, Kitiphol Chitsakul¹, Suradej Tretriluxana¹

¹Biomedical Measurement and Computation Laboratory

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand

e-mail : bell_narag@hotmail.com

Abstract— The use of motion capture is now widespread in a study of human motion such as in animation movies, sports, and medicines. A popular motion capture system is the optical type which is, however, very costly. This article presents design and implementation of an optical motion capture made by cheap hardware and can be used in some applications. By using 2 webcam (OKER™ HD 335) and 3 active markers, some preliminary experiments of simple gait analysis were carried on. In order to construct human walking model, we attached the markers on a volunteer's hip, knee and ankle and assigned him/her walking on a treadmill at the speed of 1km/hr in flatting position. Based on Direct Linear Transformation, DLT algorithm developed on MATLAB® (student edition) for processing, the 3 dimensional coordinates of each marker were located. Walking model of subject then has been constructed.

Keywords—optical motion capture; active marker; walking model; gait analysis; direct linear transformation

I. INTRODUCTION

In daily life, the human motion is involved naturally in functions of nerves, muscles and bones in which gradually change its biomechanical state. The main factors that motivate the change are age, accidents and some diseases. The change may affect to a personality and mental daily life notably because of the rapid change by accidents and some diseases. The diabetic is a disease in which provokes change of the biomechanics of foot from losing the sensing nerve, effectiveness of blood vessels in carrying the nutrition to the cells of muscle, ligament and also foot skeleton. Diabetic foot complications such as chronic diabetic ulceration, corn & calluses, foot deformities are often the final results in diabetic patients. These foot complications affect to a natural style of walking (gait) of the patients. Correction of gait may be need, however, after treatment of the foot complications. Therefore the quantitative gait analysis method is of course helpful for physiological therapists.

The motion capture is now widespread in a study of human motion especially used in entertainment industrials. This complicate, costly system had long been limited in popular entertainment industrials such as animations movies and video games. Recently the motion capture have been developed, by researchers in the field, be many systems based on various principles such as magnetic, mechanic, and optical. Magnetic systems (for instance [1]) use electromagnetic sensor connected to a computer which can give 3D data. The strong point of magnetic trackers is it high sampling rate, however it

has low space solution and magnetic signal may be easily disturbed by metallic objects or other magnetic fields. Mechanical systems use special suits which made for 1 person. It comes along with integrated mechanical sensors that store and analyze human motion, e.g. motion capture body suits and data gloves [2]. The most popular and long time ago used, optical systems, for capturing and analyzing human motions, provide high resolution and sampling rate, and give the subject freedom of movement. Because of its cost of hardware and software, the system, however, have been limited in popular entertainment industrials. Optical systems are further classified according to the use of markers (marker-based and markerless). A marker-based system tracks the trajectories of attentive markers on the body, while markerless systems compute motion parameters from extracted silhouettes or other features (e.g. [3]). Moreover, based on how markers are identified from background, optical motion capture systems are further classified into two types: active and passive. The active system uses some light sources as markers. The passive system, in contrast, markers are made by retro-reflective material.

Our work is to develop a low cost optical motion system aiming to use in quantitative gait analysis for diabetic foot complications patients. In this article we present design and implementation of our system and some preliminary experimental results for validation with the limiting factors. Finally human walking model has been also graphically shown.

II. MATERIALS AND METHODS

Our system consists of 2 webcams (OKER™ HD 335) , attached on tripods, which is able to capture at 25 frames per second, 3 active markers (as shown in Fig. 1), which attach on a volunteer's hip, knee and ankle as depicted in Fig 2. In the procedure, we need frame calibration (know certainly coordinates) for calibrating the cameras. The block diagram in the Fig. 3 shows details of the system to find 3D coordinates of the markers.

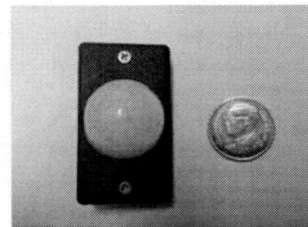


Figure1. A active marker.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

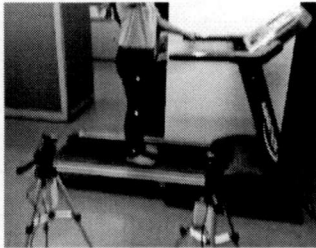


Figure 2. Experimental setup for video recording.

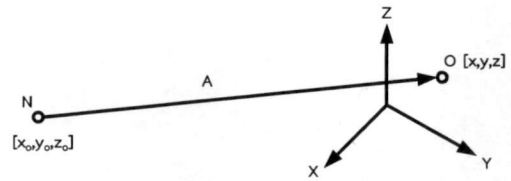


Figure 5. Vector A on object-space reference frame (XYZ-system).



Figure 3. System block diagram

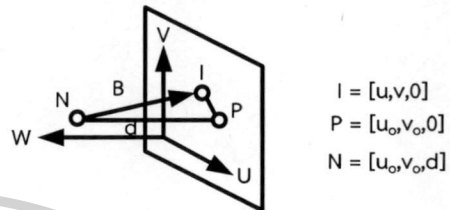


Figure 6. The image plane on 3D.

Essentially, an image preprocessing was needed to detect the center for each marker, and to provide the 2D position of each marker detected by the cameras. The 3D coordinates of each marker then were found by Direct Linear Transformation (DLT) technique [4].

With procedure mentioned above, real time manipulation had not been possible. The recording images from the cameras are directly projection of object onto projected plane or image plane. As shown in the Fig. 4, the object O is mapped to projected image I onto the image plane. Obviously the point N is the projection center. We define the plan on which point O locates as object-space reference frame (XYZ-system) and the location of point I is an image-space reference frame (UV-system). So the [XYZ] is the object-space coordinates of point O while the [UV] is image-space coordinates of point I. The points N, O and I are approximately collinear that called co-linearity condition.

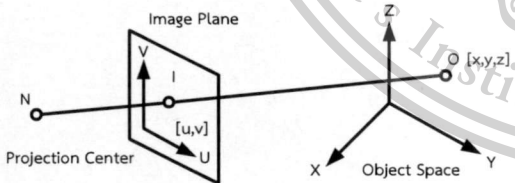


Figure 4. Process of mapping of object to projected image.

On the object space reference frame (XYZ-system), $[x_o, y_o, z_o]$ is defined as coordinate of projection center (N). Therefore the $[x-x_o, y-y_o, z-z_o]$ is the vector A that is drawn from N to O (Fig. 5).

On the image-space reference frame (UV-system), the axis W being perpendicular to the image plane is added. The point P is the principal point on image plane. A line which is parallel

with the axis W and perpendicular image plane, called principle axis, is drawn from the projection center N pass through the image plane. The principal point is the intersection of the principal axis with the image plane. Distance of projection center N to principal point P is called principal distance (d). Therefore coordinates of I, P and N are $[u, v, 0]$, $[u_o, v_o, 0]$ and $[u_o, v_o, d]$, respectively. $[u-u_o, v-v_o, -d]$ is the vector B that is drawn from N to I (Fig. 6).

Since points O, I and N are co-linear, the vector A (Fig. 5) and B (Fig. 6) form a single straight line. The co-linearity condition is simply equivalent to the vector expression,

$$B = cA, \quad (1)$$

where c is a scaling scalar. Note here that vectors A and B were originally described in the object-space reference frame and the image-plane reference frame, respectively. In order to directly relate the coordinates, it is necessary to describe them in a common reference frame. Therefore we transform vector A to the image-plane reference frame,

$$T_{I/O} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$A^{(I)} = T_{I/O} \cdot A^{(O)} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot A^{(O)} \quad (2)$$

where $A^{(I)}$, $A^{(O)}$ and $T_{I/O}$ are the vectors A on the image-plane reference frame, vector A on the object-space reference frame and the transformation matrix from object-space reference frame to image-plane reference frame respectively. Apply (2) to (1),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$\begin{bmatrix} u - u_0 \\ v - v_0 \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

From (3), we obtain,

$$c = \frac{-d}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \quad (4)$$

Substitute (4) for c in (3),

$$\begin{aligned} u - u_0 &= -d \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \\ v - v_0 &= -d \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \end{aligned} \quad (5)$$

We can rearrange (5) for the XYZ system of each camera:

$$\begin{aligned} u_i &= \frac{L_1 x_i + L_2 y_i + L_3 z_i + L_4}{L_9 x_i + L_{10} y_i + L_{11} z_i + 1} \\ v_i &= \frac{L_5 x_i + L_6 y_i + L_7 z_i + L_8}{L_9 x_i + L_{10} y_i + L_{11} z_i + 1} \end{aligned} \quad (6)$$

Where L_1 - L_{11} are DLT parameter, i are number of the points, u_i, v_i are 2D coordinates of the point i , and x_i, y_i, z_i are 3D coordinates of the point i .

Actually camera calibration is finding DLT parameters (L). We rearrange (6) :

$$\begin{aligned} x_i L_1 + y_i L_2 + z_i L_3 + L_4 - u_i x_i L_9 - u_i y_i L_{10} - u_i z_i L_{11} &= u_i \\ x_i L_5 + y_i L_6 + z_i L_7 + L_8 - v_i x_i L_9 - v_i y_i L_{10} - v_i z_i L_{11} &= v_i \end{aligned} \quad (7)$$

Where i are the number of points, the image-space coordinates, $[u_i, v_i]$ and the object-space coordinates, $[x_i, y_i, z_i]$, were then entirely known.

In our experiments, we used 2 webcams to capture image of the calibrating frame and calculated the DLT parameters (L).

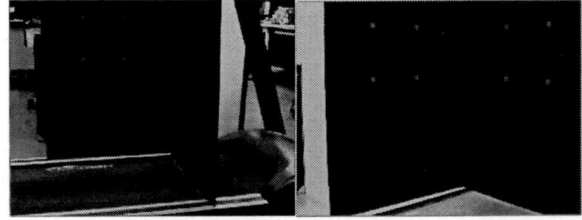


Figure 7. Calibrating frame captured by two webcams.

TABLE I. DLT PARAMETERS OF THE TWO CAMERAS (1 AND 2).

L_n	DLT 1	DLT 2
1	-2.20053	-2.51336
2	-0.34986	0.938208
3	-0.10964	-0.0013
4	181.2772	186.6305
5	-0.03815	-0.2009
6	-0.00107	-0.22845
7	-2.16974	-2.59752
8	171.0323	213.6296
9	-0.00067	-0.00309
10	-0.00447	-0.00411
11	-0.00088	-0.00014

III. EXPERIMENTAL RESULTS

To validate the 3D positions extracted from each video frame, we have compared real positions and computed positions. We obtained real positions by using a standard ruler and of course computed positions by DLT technique. 8 positions estimation were carried on in the experiments. The experimental results were shown in the table 2. The root mean square of error obtained is 0.1861 cm. The errors are considered within our acceptable tolerance.

TABLE II. COMPARISON RESULT OF POSITIONS.

No. of position n	Real positions (cm)			Computed positions (cm)			Error (cm)
	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	45	0	70	45.0872	0.2135	69.9540	0.2351
2	25	0	70	24.8465	-0.2724	70.0390	0.3150
3	0	25	70	-0.0533	24.9368	70.0107	0.0833
4	0	45	70	0.1036	45.0955	69.9950	0.1409
5	45	0	50	44.9839	-0.0485	50.0123	0.0525
6	25	0	50	25.0011	-0.0063	50.0107	0.0124
7	0	25	50	0.2322	25.2834	49.9794	0.3669
8	0	45	50	-0.2010	44.8018	50.0001	0.2822
Mean							0.1861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Consequently other experiment (dynamic motion capture) was carried on. By operating of video recording for each webcam on the experimental objects attached by the marker at hip knee and ankle, the each synchronized dual frame were manually selected for using in the procedures of determining the 3D coordinates. The angle displacement of thigh and shank then continuously calculated using trigonometric approach. Finally human walking model has been also graphically shown as in the Figure 8.. In Figure 9. Show the angle of x axis, y axis and z axis for each marker.

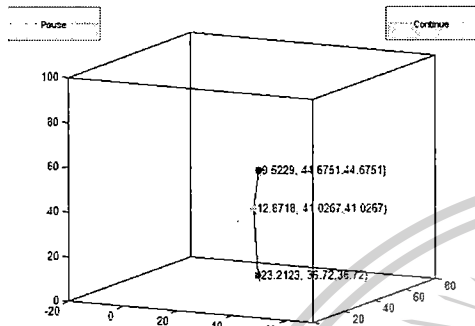


Figure 8. Graphic 3D motion of a leg (right).

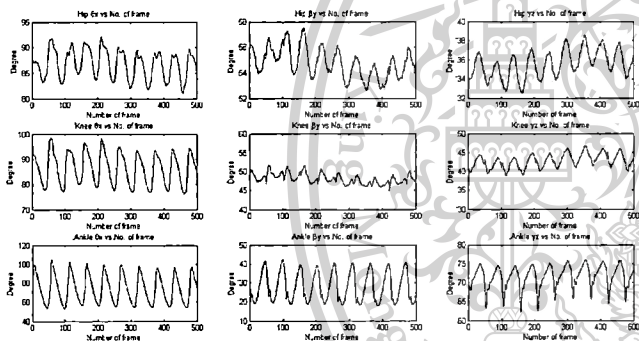


Figure 9 . The angle of x axis, y axis and z axis for each marker.

IV. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

This article presents optical motion capture system which has been developed for using as gait analyzer for the patients who got diabetic foot complications before or after recovering from treatment. The system uses 2 webcam and 3 active markers and DLT transformation algorithm to calculate the 3D coordinates of the markers by MATLAB™. The process started from cameras calibration in which to find the DLT transformation's coefficient by using calibrating frame located at the object measured position. We obtained 3D coordinate at average error of 0.1861 cm. Finally dynamic motion captures, with a healthy human's leg walking on a treadmill in flat position at speed of 1 Km/hr. were carried on. The moving angles of the markers acting on the three reference axes were shown as sinusoidal waveforms (Fig. 9). Finally a 3D motion model of 2 pieces, thigh and shin are also shown.

By considering errors of coordinates at 0.1861 cm, the speed of moving more than 1 Km/hr has been not effective. Limited by the frame rate of the cameras, 2D coordinate estimation may cause the errors. Some experiments with the patients who got diabetic foot complications will be carried on in the near future.

REFERENCES

- [1] K. Hoshino. "Interpolation and extrapolation of repeated motions obtained with magnetic motion capture." IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 87(9):2401–2407, 2004.
- [2] Guido Heumer, Henri Ben Amor, and Bernhard Jung. "Grasp Recognition for Uncalibrated Data Gloves: A Machine Learning Approach. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 17(2):121–142, 2008.
- [3] Thomas B Moeslund, Adrian Hilton, and Volker Krüger. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. Computer Vision and Image Understanding Special Issue on Modeling People: Vision-based understanding of a person's shape, appearance, movement and behaviour, 104(2-3):90–126, 2006.
- [4] Abdel-Aziz, Y.I., and Karara, H.M., "Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close Range Photogrammetry," Proceedings of the ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illionis, 1–18 (1971).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.