สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ

3D CHARACTER ANIMATION STUDIO

นายชัยพร พรพุทธศรี

นายชัยรัตน์ อ่อนแย้ม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 61527
วัน,เดือน,ปี 18 ต.ค. 2549

.b 11507835
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ

3D CHARACTER ANIMATION STUDIO

โดย

นายชัยพร พรพุทธศรี

นายชัยรัตน์ อ่อนแย้ม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ

3D CHARACTER ANIMATION STUDIO

ผู้จัดทำ

1. นายชัยพร พรพุทธศรี รหัสนักศึกษา 44010103

2. นายชัยรัตน์ อ่อนแย้ม รหัสนักศึกษา 44010106

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ

นายชัยพร	พรพุทธศรี	44010103
นายชัยรัตน์	อ่อนแย้ม	44010106
สมเกียรติ	วังศิริพิทักษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การสร้างภาพเคลื่อนไหวให้กับตัวละครสามมิติ (3D Character Animation) ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหรรมบันเทิงอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการสร้างภาพยนตร์สามมิติ หรือการทำเกมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากก็คือ การสร้างการเคลื่อนไหวโดยวิธีโมชั่นแคปเจอร์ (Motion Capture) ซึ่งคือการตรวจจับการเคลื่อนไหวของจุดสำคัญต่างๆ บนตัวละคร ซึ่งมีข้อดีกว่าการสร้างการเคลื่อนไหวด้วยมืออย่างมาก เพราะช่วยลดเวลาในการสร้าง และยังให้การเคลื่อนไหวที่สมจริงกว่า

โครงงานระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ เป็นโครงงานการพัฒนาระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์แบบโมชั่นแคปเจอร์โดยใช้กล้อง (Optical Motion Capture) ซึ่งการทำงานของระบบจะใช้กล้องวีดีโอจำนวน 2 ตัวในการเก็บภาพการเคลื่อนไหวของมนุษย์ และบันทึกไว้เป็นไฟล์วีดีโอ โดยที่บุคคลที่แสดง (เรียกว่าผู้แสดง) นั้นจะสวมชุดที่มีแถบสีติดไว้ตามตำแหน่งข้อต่อของร่างกาย ได้แก่ ศีรษะ คอ หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ อก สะโพก เข่า ข้อเท้า จากนั้นนำไฟล์วีดีโอทั้งสองมาประมวลผลหาค่าตำแหน่งของข้อต่อเหล่านั้นโดยใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ แล้วนำตำแหน่งบนภาพวิดีโอทั้งสองมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งจริงในสามมิติโดยใช้ทฤษฎีสเตอริออปซิส (Stereopsis) แล้วตำแหน่งเหล่านี้จะถูกบันทึกลงไฟล์การเคลื่อนไหวแบบซีเอสเอ็ม (CSM: Character Studio Motion) ซึ่งสามารถนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติในโปรแกรมสามดีสตูดิโอแม็กซ์ (3ds Studio Max)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D Character Animation Studio

Chaiyaporn	Pornputrasri	44010103
Chairat	Onyaem	44010106
Somkiat	Wangsiripitak	Advisor

ABSTRACT

Nowadays, creating 3D character animation is one of the most significant tasks in the entertainment industrial, film creation or computer game development, etc. The most popular method used today is Motion Capture which creates a character animation by detecting significant points on human body. This method is better than another method – created by hand – because of saving much more times and realistic motion of the character that Motion Capture gives.

3D Character Animation Studio is a motion detection system that uses Optical Motion Capture method to produce a character animation. The system uses 2 video cameras to records human's motion as digital video files. By using a specific black cloth attached with color markers around significant joints which is dressed up by a human who does acting for motion record, we can determine each joint position from a movie frame by using of Image Processing theories. Those significant joints are head, neck, shoulders, elbows, wrists, chest, waist, knees and ankles, total 16 joints. After we get them, we match each accordant joint from both videos and calculate to get a new unique 3d position of that joint by using of Stereopsis theories. Then, these data in each frame is saved sequentially to a standard motion file – called Character Studio Motion (CSM) file – which can be imported to 3ds Studio Max program to make a realistic 3d character animation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานและปริญญานิพนธ์นี้มิอาจเกิดขึ้นได้หากขาดการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์ รวมถึงอาจารย์ ดร.สมศักดิ์ วลัยรัชต์ ดร.อรัญญา วลัยรัชต์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ในการทำโครงงานนี้ และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ได้มีส่วนร่วมในการส่งเสริมและสนับสนุนการทำโครงงานนี้ไม่ว่าในรูปใดๆ ก็ตาม จนทำให้สามารถดำเนินโครงงานจนสำเร็จเสร็จสิ้นไปด้วยดี ดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณทุกท่านมาไว้ ณ ที่นี้

นอกเหนือจากบุคคลข้างต้นแล้ว ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุพการีที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มาถึง ณ จุดนี้ ซึ่งท่านมีส่วนสำคัญต่อข้าพเจ้าในการชุบเลี้ยงจนเติบโต และให้ข้าพเจ้าได้รับการศึกษา รวมถึงการสนับสนุนในด้านต่างๆ ดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอระลึกถึงพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณท่านมาไว้ ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน ที่ได้ร่วมมือกันทำงาน และแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายชัยพร พรพุทธศรี
นายชัยรัตน์ อ่อนแย้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหว	4
2.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture)	4
2.2 Performance Animation	4
2.3 ชนิดของการตรวจจับการเคลื่อนไหว	4
2.3.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic Motion Capture System)	4
2.3.2 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้องวิดีโอ (Optical Motion Capture System)	5
2.3.3 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้ชุดเชิงกล (Electro-mechanical Motion Capture System)	6
2.4 ข้อดี-ข้อเสียของการตรวจจับการเคลื่อนไหวแต่ละแบบ	7
2.5 การประยุกต์ใช้งานการตรวจจับการเคลื่อนไหว	8
2.5.1 การประยุกต์ใช้งานในด้านการแพทย์	8
2.5.2 การประยุกต์ใช้งานในด้านอุตสาหกรรมบันเทิง	8
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานในด้านนิติศาสตร์	8
2.6 ส่วนสรุป	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ
(ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอ	9
3.1 แบบจำลองกล้องรูเข็ม	9
3.2 การคำนวณหาอัตราส่วนการเกิดภาพของกล้องถ่ายภาพ	10
3.3 การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอ	11
3.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อรับภาพโดยใช้ DirectShow	11
3.5 VideoOCX	12
บทที่ 4 การประมวลผลภาพ	13
4.1 รูปแบบสี (Color Model)	13
4.1.1 รูปแบบ RGB	13
4.1.2 รูปแบบ HSV	14
4.2 Image Segmentation	14
4.2.1 Thresholding	14
4.2.2 Blob Analysis	15
บทที่ 5 Stereopsis	17
5.1 การคำนวณแบบขาไป (Forward Calculation)	17
5.2 การคำนวณแบบย้อนกลับ (Backward Calculation)	20
บทที่ 6 Character Studio Motion File	22
บทที่ 7 การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติในโปรแกรม 3D Studio Max	25
7.1 Character Setup	25
7.2 Character Studio	25
7.2.1 Biped	26
7.2.2 Physique	26
7.2.3 Crowd	27
7.3 Keyframe Animation	28
7.4 การทำ Animation ด้วยไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว	28
7.4.1 การสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)	28
7.4.2 การนำไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ csm มาใช้งาน	29
7.4.3 การนำหุ่น Biped ไปใช้งาน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ
(ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 8 การออกแบบระบบ	32
8.1 ระบบโดยรวม (System Overview)	32
8.2 การบันทึกภาพการเคลื่อนไหว (Motion Record)	33
8.2.1 การติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอ	33
8.2.2 การจัดวางกล้องให้ตรงตำแหน่ง (Camera's Position Calibration)	37
8.2.3 ผู้แสดง มาร์กเกอร์ และการจัดสภาพแวดล้อม	38
8.2.4 การออกแบบโปรแกรม	41
8.2.4.1 อัตราภาพและชนิดไฟล์ที่บันทึก	42
8.2.4.2 การบันทึกภาพพร้อมกัน (Synchronization)	43
8.3 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหว (Motion Analysis)	44
8.3.1 การตรวจหาตำแหน่งมาร์กเกอร์จากภาพ	44
8.3.2 การแข้ไขตำแหน่งเมื่อตรวจไม่พบมาร์กเกอร์	46
8.3.3 การหาและสร้างตำแหน่งข้อต่อ	47
8.3.4 การปรับปรุงตำแหน่ง	51
8.3.5 การออกแบบโปรแกรม	52
8.3.5.1 ขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์บนภาพ	53
8.3.5.2 ขั้นตอนการคำนวณหาตำแหน่งจริง และบันทึกลงไฟล์ CSM	53
8.4 สร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร (Animation Production)	54
8.4.1 การเปลี่ยนอัตราภาพ	54
8.4.2 Key Frame Reduction และ Limb Orientation	54
บทที่ 9 ผลการทดสอบระบบ	57
9.1 การตรวจจับ ติดตาม และแยกแยะมาร์กเกอร์	58
9.1.1 การตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในท่าเริ่มต้น	59
9.1.2 การประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่ง	59
9.1.3 การติดตามมาร์กเกอร์	61
9.1.4 การละเว้นการตรวจจับ	62
9.2 ความเร็วในการเคลื่อนไหว	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ
(ต่อ)

	หน้าที่
9.3 ท่าทางที่ไม่สามารถทำการตรวจจับได้	65
9.3.1 การหมุนตัวในมุมมากเกิน	65
9.3.2 การแกว่งแขนหน้า-หลัง	66
9.2.3 การเดินสลับขา	66
9.3.4 การก้มตัว	67
9.3.5 การนั่ง	67
9.3.6 การเคลื่อนสวนหรือใกล้กันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน	68
9.3.7 สรุปผลการทดสอบ	68
9.4 ความถูกต้องของท่าทางการเคลื่อนไหวที่ได้จากการตรวจจับ	69
9.4.1 การเคลื่อนไหวของส่วนศีรษะ และสะโพก	69
9.4.2 การเคลื่อนไหวของส่วนแขน	73
9.4.3 การเคลื่อนไหวในส่วนลำตัว	74
9.4.4 การเคลื่อนไหวในส่วนของขา และเท้า	75
9.5 การปรับปรุงตำแหน่งการเคลื่อนไหว	76
9.5.1 การปรับปรุงตำแหน่งโดยลดเฟรมเรท	76
9.5.2 การปรับปรุงตำแหน่งโดยการเฉลี่ยค่าจุด	77
9.5.3 สรุปผลการทดสอบ	78
9.6 การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร	79
บทที่ 10 บทวิจารณ์และสรุป	83
10.1 ประเมินผล	83
10.2 แนวทางการพัฒนาต่อ	83
10.2.1 การหาตำแหน่งข้อต่อจากภาพ	83
10.2.2 การเพิ่มจำนวนกล้อง	84
10.2.3 การแยกแยะมาร์กเกอร์แต่ละจุด	84
10.2.4 การสร้างการเคลื่อนไหวโดยใช้โครงกระดูก	85
10.2.5 การทำงานแบบรีลไทม์	85
บรรณานุกรม	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อดี-ข้อเสียของการตรวจจับการเคลื่อนไหวแต่ละแบบ	7
ตารางที่ 9.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของกล้องวีดีโอรุ่น LYD-805C	57
ตารางที่ 9.2 ตารางแสดงคุณลักษณะของการ์ดจับภาพ	58
ตารางที่ 9.3 ตารางแสดงความเร็วการเคลื่อนที่ต่ำสุดที่ตรวจจับไม่ได้ ณ รัศมีการตรวจจับต่างๆ	64

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผู้แสดงที่สวมชุดตรวจจับแบบใช้แม่เหล็ก	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้อง	6
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผู้แสดงที่สวมชุดตรวจจับแบบเชิงกล	6
รูปที่ 3.1 แบบจำลองกล้องรูเข็ม	9
รูปที่ 3.2 การคำนวณหาระยะบนภาพ	9
รูปที่ 3.3 การตั้งกล้องเพื่อหาระยะโฟกัส	10
รูปที่ 3.4 การคำนวณหาระยะโฟกัส	10
รูปที่ 3.5 กราฟฟิลเตอร์สำหรับการจับภาพจากอุปกรณ์จับภาพ	11
รูปที่ 4.1 รูปแบบสีแบบ RGB	13
รูปที่ 4.2 รูปแบบสี HSV โดยแสดงในรูปของกรวย	14
รูปที่ 4.3 (ก) รูปภาพก่อนการทำ Threshold	15
(ข) รูปภาพหลังการทำ Threshold	15
รูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของ Blob Analysis โดยใช้วิธี Floodfill	16
รูปที่ 5.1 การหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์โดยวิธี Stereopsis	17
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของมาร์กเกอร์บนฉากรับภาพ	18
รูปที่ 5.3 ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ในแนวแกน Z	19
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างของ biped ที่ใช้ในการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร	22
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างไฟล์ CSM	23
รูปที่ 7.1 ตัวอย่างของโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)	26
รูปที่ 7.2 ตัวอย่างของการทำ Physique	27
รูปที่ 7.3 ตัวอย่างของการทำ Crowd	27
รูปที่ 7.4 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)	29
รูปที่ 7.5 เครื่องมือที่ใช้ในการนำเข้าไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว	29
รูปที่ 7.6 โมเดลตัวละคร และโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ทำการนำเข้าไฟล์การเคลื่อนไหวไว้	30
รูปที่ 7.7 โครงกระดูกสำเร็จรูปให้จัดรูปร่างให้เหมาะกับโมเดลตัวละครแล้ว	31
รูปที่ 7.8 ตัวอย่างการทำ Attach to Node	31
รูปที่ 8.1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ	32
รูปที่ 8.2 แผนผังแสดงระบบการทำงานในขั้นตอนการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว	33
รูปที่ 8.3 การวางตำแหน่งกล้อง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ
(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 8.4 แสดงพื้นที่ที่สามารถตรวจจับได้จากการวางกล้องถ่ายภาพวิดีโอในมุมต่างๆ	35
รูปที่ 8.5 (ก) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-450, -180)	35
รูปที่ 8.5 (ข) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-330, -390)	36
(ค) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-150, -540)	36
รูปที่ 8.6 แสดงการวางตำแหน่งมาร์กเกอร์ลงบนพื้นสำหรับการทำ Calibration	37
รูปที่ 8.7 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรมขณะทำ Calibration	37
รูปที่ 8.8 ตำแหน่งและสีของมาร์กเกอร์ที่ติดกับชุดแสดง	39
รูปที่ 8.9 (ก) ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องในสภาพแวดล้อมที่สว่างเกินไป	40
(ข) ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องในสภาพแวดล้อมที่มืดเกินไป	40
รูปที่ 8.10 ตัวอย่างภาพจากกล้องในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม	40
รูปที่ 8.11 โครงสร้างโปรแกรมบันทึกภาพการเคลื่อนไหว	41
รูปที่ 8.12 ภาพตัวอย่างแสดงโปรแกรมบันทึกภาพการเคลื่อนไหว	42
รูปที่ 8.13 แผนผังแสดงระบบการทำงานในขั้นตอนการวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหว	44
รูปที่ 8.14 แผนผังแสดงการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์	45
รูปที่ 8.15 แสดงการติดตามมาร์กเกอร์	45
รูปที่ 8.16 รูปแสดงการตรวจจับซ้ำซ้อนของมาร์กเกอร์	46
รูปที่ 8.17 แสดงการแก้ไขจุดมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับไม่พบ	47
รูปที่ 8.18 ภาพแสดงตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์	48
รูปที่ 8.19 การคำนวณหาค่าจุด RBHD และ LBHD	49
รูปที่ 8.20 แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	52
รูปที่ 8.21 ภาพตัวอย่างแสดงโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	53
รูปที่ 8.22 หน้าต่างการปรับลดอัตราภาพในโปรแกรม 3ds Studio Max	54
รูปที่ 8.23 หน้าต่างการนำเข้าไฟล์ CSM	55
รูปที่ 8.24 หน้าต่างของ Animation Workbench	56
รูปที่ 9.1 การตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในท่าเริ่มต้น	59
รูปที่ 9.2 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 167	59
(ข) แสดงภาพที่ต้องตรวจจับในเฟรมที่ 168	59
รูปที่ 9.3 (ก) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีน้ำเงิน	60
(ข) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีชมพู	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ
(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 9.3 (ค) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีเขียว	60
(ง) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีเหลือง	60
รูปที่ 9.4 แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 167	61
รูปที่ 9.5 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 190	61
(ข) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 191	61
(ค) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 192	62
(ง) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 193	62
รูปที่ 9.6 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 146	63
(ข) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 147	63
(ค) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 148	63
(ง) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 149	63
รูปที่ 9.7 แสดงท่าทางที่ใช้ในการตรวจจับสำหรับการทดลอง	64
รูปที่ 9.8 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงท่าการหมุนตัวไปทางซ้าย	65
(ข) ภาพจากกล้องขวาท่าแสดงการหมุนตัวไปทางซ้าย	65
รูปที่ 9.9 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงท่าการแกว่างแขนไปข้างหน้า	66
(ข) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการแกว่งแขนไปข้างหลัง	66
รูปที่ 9.10 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการเดินไปข้างหน้า	66
(ข) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการเดินไปด้านข้าง	66
รูปที่ 9.11 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการก้มตัว	67
รูปที่ 9.12 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการนั่ง	67
รูปที่ 9.13 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการใกล้กันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน	68
รูปที่ ๑.14 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายก่อนหันหน้า	69
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาก่อนหันหน้า	69
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	69
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	69
รูปที่ 9.15 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายหลังจากหันหน้า	70
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาหลังจากหันหน้า	70
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ
(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 9.15 (ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	70
รูปที่ 9.16 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายก่อนบิดสะโพก	71
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาก่อนบิดสะโพก	71
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	71
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	71
รูปที่ 9.17 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายหลังจากบิดสะโพก	72
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาหลังจากบิดสะโพก	72
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	72
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	72
รูปที่ 9.18 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนแขน	73
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนแขน	73
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	73
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	73
รูปที่ 9.19 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนลำตัว	74
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนลำตัว	74
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	74
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	74
รูปที่ 9.20 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนขา	75
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีเคลื่อนไหวส่วนขา	75
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการของการวิเคราะห์ตำแหน่งและสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว	75
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน	75
รูปที่ 9.21 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยไม่มีการปรับปรุงตำแหน่ง	76
รูปที่ 9.22 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยการลดเฟรมเรทลงครึ่งหนึ่ง	76
รูปที่ 9.23 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยการลดเฟรมเรทลงหนึ่งในห้า	77
รูปที่ 9.24 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยไม่มีการปรับปรุงตำแหน่ง	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ
(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 9.25 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดใน 2 มิติ 77

รูปที่ 9.26 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดใน 3 มิติ 78

รูปที่ 9.27 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดทั้งใน 2 มิติ และ 3 มิติ 78

รูปที่ 9.28 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 0 79

(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 0 79

(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป 79

(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว 79

รูปที่ 9.29 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 52 80

(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 52 80

(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป 80

(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว 80

รูปที่ 9.30 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 119 81

(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 119 81

(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป 81

(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว 81

รูปที่ 9.31 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 230 82

(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 230 82

(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป 82

(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว 82

รูปที่ 10.1 แสดงการหาตำแหน่งจุดโดยการทำ Inverse Ray Tracing 84

รูปที่ 10.2 ตัวอย่างกล้องที่ใช้ในการตรวจจับภาพ 86

รูปที่ 10.3 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่รับค่าจากกล้องและต่อกับคอมพิวเตอร์ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบัน เทคโนโลยีด้านสารสนเทศเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก ผู้นำทางด้านเทคโนโลยีหลายฝ่ายจึงเห็นความสำคัญถึงประโยชน์ของการพัฒนา และการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทางด้านสารสนเทศกันมากขึ้น โดยเฉพาะการนำโปรแกรม 3 มิติ มาใช้งานร่วมกับสื่อด้านต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งการใช้โปรแกรม 3 มิตินี้กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะสื่อทางด้านความบันเทิง เช่น การทำภาพยนตร์ การทำโฆษณา การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ และยังถูกนำมาใช้งานในหน่วยงานอีกหลายๆ หน่วยงาน เช่น หน่วยงานทางด้านการศึกษา หน่วยงานด้านการแพทย์ เป็นต้น แต่ถึงแม้ว่าโปรแกรม 3 มิติ จะเริ่มมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายก็ตาม ก็ยังคงมีปัญหาในด้านของการสร้างภาพที่มีความสมจริง และปัญหาด้านของอุปกรณ์อยู่มาก เพราะการสร้างตัวละคร 3 มิติที่มีความสมจริงนั้นเป็นงานที่ต้องใช้ความชำนาญ รวมทั้งอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานนั้นก็ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ และมีความละเอียดในการทำงานที่สูงด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การสร้างตัวละคร 3 มิติที่มีคุณภาพ และมีความสมจริงมากๆ นั้น จึงนำมาด้วยการลงทุนที่สูงตามมา

และด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงทำให้หน่วยงานต่างๆ ภายในประเทศ ไม่ได้นำเทคโนโลยีทางด้านโปรแกรม 3 มิติมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร ดังนั้นหากสามารถสร้างระบบที่สามารถทำให้การเคลื่อนไหวของตัวละคร 3 มิติให้มีความสมจริง และมีต้นทุนที่ถูกได้ จะทำให้มีการนำเทคโนโลยีทางด้าน 3 มิติมาใช้งานในหน่วยงานต่างๆ มากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีตามมาด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อพัฒนาระบบบันทึกการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ที่สามารถนำไปใช้สร้างการเคลื่อนไหวของตัวละคร 3 มิติได้
2. เพื่อให้สามารถสร้างตัวละคร 3 มิติ ในรูปแบบของมนุษย์ที่มีการเคลื่อนไหวที่สมจริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้าน 3 มิติได้
3. เพื่อเสริมสร้างความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้าน 3 มิติ
4. เพื่อส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้ โดยใช้ต้นทุนต่ำ
5. เพื่อส่งเสริมการใช้งานด้าน 3 มิติกับสื่อในด้านต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

พัฒนาระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ ซึ่งเป็นระบบที่นำมาใช้เพื่อช่วยสร้างการเคลื่อนไหวที่มีความสมจริงให้กับตัวละครมนุษย์ในโปรแกรม 3 มิติ โดยที่รูปแบบของการเคลื่อนไหวจะเป็นไปตามไฟล์ข้อมูลของการเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นจากข้อมูลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนไหวจริงของนักแสดง สำหรับการสร้างไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวของตัวละครจะได้มาจากการใช้กล้องถ่ายวีดีโอ 2 ตัว จับภาพการเคลื่อนไหวของนักแสดง แล้วบันทึกข้อมูลภาพการเคลื่อนไหวของนักแสดงในรูปของไฟล์วีดีโอ และเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับกล้องแต่ละตัว ในส่วนของนักแสดงจะสวมชุดซึ่งมีแถบผ้าสีอยู่ตามบริเวณข้อต่อต่างๆ เพื่อใช้เป็นจุดบอกตำแหน่งของส่วนข้อต่อต่างๆ ของร่างกายนักแสดงขณะที่นักแสดงมีการเคลื่อนไหว สำหรับไฟล์วีดีโอข้อมูลการเคลื่อนไหวของนักแสดงจะนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งของข้อต่อ และบันทึกข้อมูลในรูปของไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM เพื่อไว้ใช้ในการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการประมวลผลภาพ ซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดสังเกต
2. ศึกษาการสร้างโมเดล 3 มิติ และการสร้างการเคลื่อนให้กับตัวละคร 3 มิติ
3. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของไฟล์ที่จะใช้ในการบันทึกข้อมูล
4. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการพัฒนา
5. วิเคราะห์ และออกแบบระบบ
6. พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว และโปรแกรมวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดสังเกต
7. วิเคราะห์ผลของระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น และแก้ไขส่วนที่ผิดพลาดเพื่อให้สามารถสร้างไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่สามารถนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้ตัวละครได้สมจริงมากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการประมวลผลภาพ
2. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างโมเดล 3 มิติ
3. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ
4. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวของมนุษย์ซึ่งสามารถสร้างไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM ที่มีต้นทุนต่ำ

1.6 ส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์จะนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับโครงงานระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละครสามมิติ ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

1. บทนำ คือบทที่ 1 นี้
2. ส่วนทฤษฎี ประกอบไปด้วย 6 บท อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีซึ่งนำมาใช้ในโครงงานนี้ เป็นการปูพื้นฐานความเข้าใจต่อการทำโครงงานนี้ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหว อธิบายถึงการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธีโมชั่นแคปเจอร์ด้วยวิธีต่างๆ ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.2 บทที่ 3 การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอ เป็นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกล้องวิดีโอ การรับภาพเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผล

2.3 บทที่ 4 การประมวลผลภาพ แสดงความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ อัลกอริธึมที่ใช้ในโครงงาน

2.4 บทที่ 5 Stereopsis เป็นการอธิบายในส่วนทฤษฎีการคำนวณหาตำแหน่งจากภาพ 2 ภาพ โดยมีการคำนวณแบบขาไปคือหาตำแหน่งจริงจากภาพ 2 ภาพและการคำนวณขากลับคือการหาตำแหน่งบนภาพจากตำแหน่งจริงที่รู้

2.5 บทที่ 6 Character Studio Motion File เป็นบทที่อธิบายถึงไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว ที่ระบบจะใช้เป็นเอาท์พุท เพื่อนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครต่อไป

2.6 บทที่ 7 การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติในโปรแกรม 3D Studio Max

3. ส่วนการออกแบบ ได้แก่บทที่ 8 เป็นส่วนที่อธิบายการออกแบบโครงงานนี้ ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ คือการบันทึกภาพเคลื่อนไหวโดยใช้กล้องวิดีโอ และนำไฟล์วิดีโอมาวิเคราะห์เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อให้ได้ไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวต่อไป ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในส่วนต่างๆ ออกเป็นข้อๆ ไป
4. ส่วนผลการทดสอบ ได้แก่บทที่ 9 เป็นการทดลองและทดสอบระบบ เพื่อแสดงถึงผลที่ได้จากโครงงาน
5. ส่วนบทวิจารณ์และสรุป ได้แก่บทที่ 10 เป็นบทส่งท้าย เป็นการสรุปโครงงานทั้งหมดและแนะนำแนวทางการพัฒนาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหว

2.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture)

การตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นกระบวนการในการบันทึกการเคลื่อนไหวจริง แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ได้ โดยการติดตามจุดสำคัญ (Key Point) ที่เคลื่อนไหวในบริเวณแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมารวมกันเพื่อสร้างการแสดงผลในรูปของสามมิติ หรือนั่นคือ การตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้สามารถแปลงการแสดงในโลกแห่งความเป็นจริงเป็นการแสดงในรูปของดิจิตอลนั่นเอง สิ่งที่จะนำมาตรวจจับนั้นจะเป็นอะไรก็ได้ในโลกแห่งความเป็นจริงที่มีการเคลื่อนไหว และจุดสำคัญก็คือบริเวณที่สามารถแสดงการเคลื่อนไหวในส่วนต่างๆ ของสิ่งๆ นั้นได้ดีที่สุด เช่น หากจะตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ จุดเหล่านั้นอาจเป็นส่วนของข้อต่อหรือจุดเชื่อมต่อของอวัยวะหลัก จุดเหล่านี้จะถูกตรวจจับโดยเซ็นเซอร์ (Sensor) มาร์กเกอร์ (Marker) หรือตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) ที่ติดไว้กับสิ่งที่จะตรวจจับ และจะเป็นตัวที่ให้ข้อมูลสำหรับการตรวจจับแก่อุปกรณ์เก็บข้อมูลต่อไป

2.2 Performance Animation

คือการทำภาพเคลื่อนไหวจากการแสดงจริง ซึ่งคำนี้นั้นจะต่างจากการตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture) ตรงที่ การตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นการมองถึงเทคโนโลยีในการเก็บหรือตรวจจับการเคลื่อนไหว แต่ Performance Animation กล่าวถึงการแสดงในโลกแห่งความเป็นจริงที่ถูกใช้ในการสร้างตัวละครเสมือนจริงให้เคลื่อนไหว โดยไม่คำนึงถึงเทคโนโลยีที่ใช้

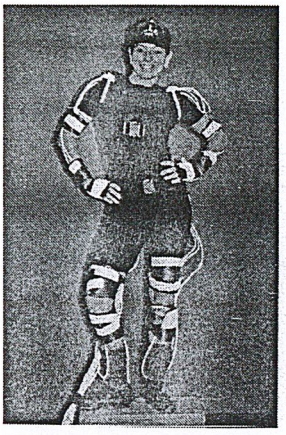
2.3 ชนิดของการตรวจจับการเคลื่อนไหว

การตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถแบ่งได้ 3 ชนิดหลักๆ ตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับดังนี้

2.3.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic Motion Capture System)

ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ติดไว้ตามส่วนต่างๆ เพื่อวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำที่ผลิตออกมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่ติดตั้งไว้ในบริเวณที่ทำการตรวจจับ เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะถูกต่อสายมาเข้ายังวงจรวัดค่าเพื่อหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในสนามแม่เหล็ก วงจรวัดค่าจะส่งข้อมูลไปเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงตำแหน่งและการหมุนในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผู้แสดงที่สวมชุดตรวจจับแบบใช้แม่เหล็ก

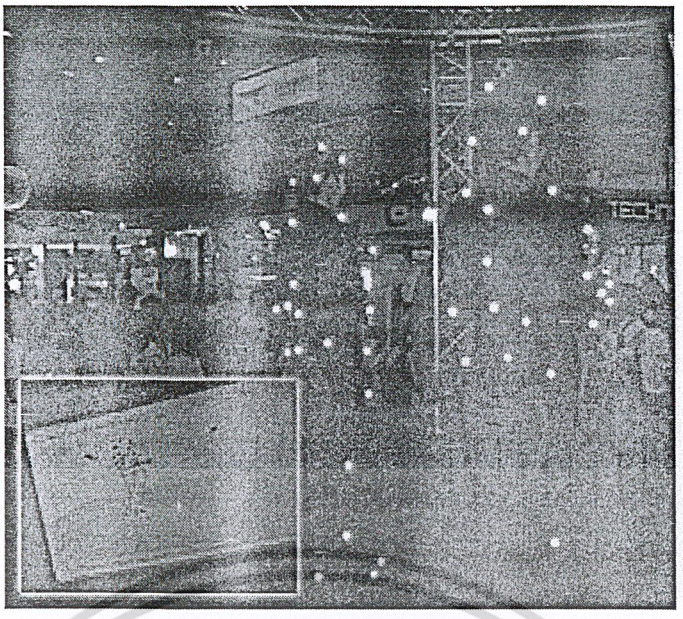
2.3.2 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้องวิดีโอ (Optical Motion Capture System)

เป็นการใช้ถ่ายภาพวิดีโอชนิดพิเศษในการติดตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยกล้องวิดีโอนี้จะใช้เลนส์แบบรับแสงอินฟราเรด เพื่อให้ได้ภาพที่แสดงตำแหน่งของจุดต่างๆ สำหรับวิธีการนี้ยังแบ่งออกไปได้อีก 2 แบบตามลักษณะมาร์กเกอร์ที่ใช้ ได้แก่

1) มาร์กเกอร์แบบสะท้อนแสงอินฟราเรด (Reflective Marker) ใช้แสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดไว้รอบๆ กล้องถ่ายภาพ แสงจะสะท้อนที่มาร์กเกอร์ทำให้เห็นเป็นจุดที่มีความเข้มแสงมากกว่าบริเวณอื่นๆ
2) มาร์กเกอร์แบบหลอด LED (Pulsed-LED) วิธีนี้แหล่งกำเนิดแสงจะอยู่ที่ตัวมาร์กเกอร์ การตรวจจับจะใช้วิธีวัดความเข้มแสงจากหลอด LED โดยตรง

จากนั้นจะตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์จากหลายๆ กล้องมารวมกัน เพื่อคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยม แล้วได้ตำแหน่งในสามมิติ วิธีนี้มักมีปัญหา เช่น การสลับมาร์กเกอร์ การรบกวน และการบดบังของมาร์กเกอร์เป็นต้น โดยในหลายๆ ระบบมักมีการนำเอาโครงกระดูกมาใช้ในการสร้างการเคลื่อนไหวด้วย โดยโครงกระดูกจะช่วยให้การเคลื่อนไหวมีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากมองถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อต่างๆ ด้วย ไม่เหมือนกับตำแหน่งที่ตรวจจับได้ที่เป็นตำแหน่งของจุดแต่ละจุดแยกกัน ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ ต่อกันเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้อง

2.3.3 การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้ชุดเชิงกล (Electro-mechanical Motion Capture System)

มักใช้กับการจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยเฉพาะ โดยใช้ชุดที่ทำขึ้นพิเศษสำหรับให้มนุษย์สวมใส่สำหรับการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยชุดจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันโดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ในการวัดการหมุนของจุดต่างๆ ตามข้อต่อสำคัญของร่างกาย การรู้มุมการหมุนของจุดต่างๆ ทำให้เราสามารถรู้ท่าทางการเคลื่อนไหวของผู้สวมชุดได้

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผู้แสดงที่สวมชุดตรวจจับแบบเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ข้อดี-ข้อเสียของการตรวจจับการเคลื่อนไหวแต่ละแบบ

	การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic Motion Capture System)
ข้อดี	- ให้ข้อมูลได้แบบ Real-time ซึ่งทำให้สามารถนำผลป้อนกลับ (Feedback) ได้ - ให้ข้อมูลตำแหน่งและการหมุนได้โดยไม่ต้องไปประมวลต่อ - มักมีราคาถูกกว่าแบบใช้กล้อง - ไม่มีการบดบังของเซ็นเซอร์
ข้อเสีย	- เซ็นเซอร์มีการตอบสนองต่อโลหะสูง ทำให้ข้อมูลมีความผิดปกติได้ - ผู้ตรวจจับจะต้องมีสายระโยงระยางติดอยู่กับตัว - เซ็นเซอร์แม่เหล็กมีอัตราการตรวจจับที่ต่ำกว่าแบบใช้กล้อง - พื้นที่การตรวจจับมักมีขนาดเล็ก และยากต่อการเปลี่ยนจำนวนและตำแหน่งของมาร์กเกอร์
	การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอ (Optical Motion Capture System)
ข้อดี	- สามารถใช้มาร์กเกอร์ได้หลายตัว และง่ายต่อการเปลี่ยนจำนวนและตำแหน่งของมาร์กเกอร์ - สามารถประมาณโครงกระดูกภายในได้จากกลุ่มของมาร์กเกอร์จำนวนหนึ่ง - ไม่มีอุปกรณ์และสายไฟที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนไหวของผู้ที่จะทำการตรวจจับ - สามารถกำหนดพื้นที่ตรวจจับได้ขนาดใหญ่ - มักมีความถี่ในการตรวจจับสูงกว่าระบบอื่นๆ ทำให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดกว่า
ข้อเสีย	- ต้องใช้การประมวลผลที่ซับซ้อนกว่าแบบอื่น - อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เฉพาะมีราคาแพง - ไม่สามารถตรวจจับได้ หากมาร์กเกอร์ถูกบดบังเป็นเวลานาน - การตรวจจับต้องกระทำในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้
	การตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้ชุดเชิงกล (Electro-mechanical Motion Capture System)
ข้อดี	- พื้นที่การตรวจจับสามารถมีขนาดที่กว้าง สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก - มีราคาถูกกว่าแบบอื่นๆ - สามารถตรวจจับแบบ Real-time ได้ - ไม่มีการบดบังของเซ็นเซอร์
ข้อเสีย	- มีอัตราการตรวจจับที่ต่ำกว่าระบบอื่นๆ - มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวอันเนื่องมาจากชุดที่ใช้สวมใส่ - ระบบมักจำกัดอยู่กับการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ - จำนวนและตำแหน่งของเซ็นเซอร์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ - ไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งจริงได้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อดี-ข้อเสียของการตรวจจับการเคลื่อนไหวแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การประยุกต์ใช้งานการตรวจจับการเคลื่อนไหว

การตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้ เช่น

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานในด้านการแพทย์

การตรวจจับการเคลื่อนไหวในทางการแพทย์เรียกว่าการวิเคราะห์ทางชีววิทยาสามมิติ (Three-dimensions Biological Measuring) ใช้ในการสร้างข้อมูลการเคลื่อนไหวทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิต เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ เช่น กลไกของข้อต่อ การวิเคราะห์โครงกระดูกสันหลัง วิทยาศาสตร์การกีฬา เป็นต้น

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานในด้านอุตสาหกรรมบันเทิง

การตรวจจับการเคลื่อนไหวช่วยลดเวลาในการสร้างภาพเคลื่อนไหว ทั้งยังทำให้ได้การเคลื่อนไหวที่สมจริง มากกว่าการสร้างการเคลื่อนไหวด้วยมือ ทำให้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมแอนิเมชั่นหรือบันเทิง เช่น การนำไปใช้สร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครในเกมคอมพิวเตอร์ ภาพยนตร์แอนิเมชั่น หรือแม้แต่การตกแต่งด้วยคอมพิวเตอร์ในการสร้างภาพยนตร์

2.5.3 การประยุกต์ใช้งานในด้านนิติศาสตร์

การตรวจจับการเคลื่อนไหวใช้ในการสร้างเหตุการณ์จำลองเสมือนจริง เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการพิจารณาคดี และใช้เพื่อแสดงสิ่งที่พยานได้กล่าวถึงเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งหลักฐานนี้มักมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของคณะลูกขุนและผู้พิพากษามากกว่าหลักฐานการแสดงอื่นๆ

2.6 ส่วนสรุป

การตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้นมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในด้านการบันเทิงที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ด้วยข้อดีคือลดเวลาในการสร้างภาพเคลื่อนไหวหรือแอนิเมชั่น และให้การเคลื่อนไหวที่สมจริง ต่างจากการสร้างการเคลื่อนไหวโดยใช้มือที่นอกจากจะไม่สมจริงแล้วยังต้องใช้เวลาทำนานกว่ามากอีกด้วย

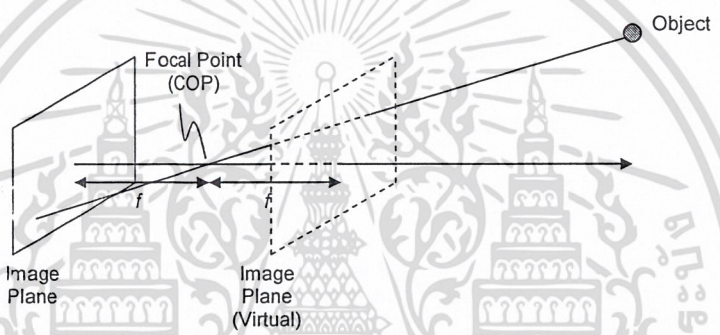
โครงงานระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิตินี้ จะเป็นการพัฒนาระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวในแบบที่ใช้กล้อง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถใช้ตรวจจับสิ่งต่างๆ ได้หลายแบบ ไม่จำกัดว่าต้องเป็นมนุษย์ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานกว่าแบบอื่นๆ เป็นต้น อย่างไรก็ดี โครงงานนี้จะเน้นการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาได้ ซึ่งจะทำให้ระบบที่พัฒนาแตกต่างจากระบบที่ใช้ในเชิงธุรกิจบ้าง แต่ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาวิธีการตรวจจับการเคลื่อนไหว และพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับการพัฒนาและใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

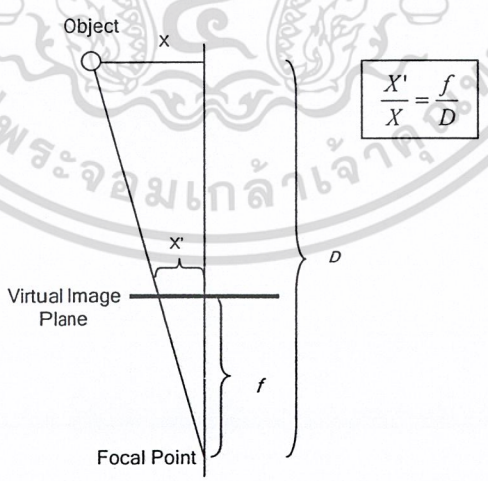
บทที่ 3
การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอ

3.1 แบบจำลองกล้องรูเข็ม

ในการเกิดภาพในกล้องถ่ายภาพโดยทั่วไปนั้น มักประกอบด้วยองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่ วัตถุ ฉากรับภาพ ความยาวโฟกัส เลนส์ แต่ในการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและภาพที่เกิดบนฉากรับภาพ เราสามารถพิจารณาโดยใช้แบบจำลองของกล้องรูเข็มแทนได้ ซึ่งจะข้ามขั้นตอนในการคำนวณผ่านเลนส์ออกไป ทำให้เราสามารถคำนวณหาตำแหน่งจริงของวัตถุหรือตำแหน่งของวัตถุบนภาพได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการที่จะหาตำแหน่งของวัตถุจากภาพที่ได้จากกล้องนั้น จำเป็นที่จะต้องรู้ค่าความยาวโฟกัส และขนาดของฉากรับภาพหรือเซ็นเซอร์รับภาพในแนวตั้งและแนวนอน เพื่อหาอัตราส่วนเพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งจะใช้ทฤษฎีของสามเหลี่ยมคล้ายเป็นหลัก



รูปที่ 3.1 แบบจำลองกล้องรูเข็ม

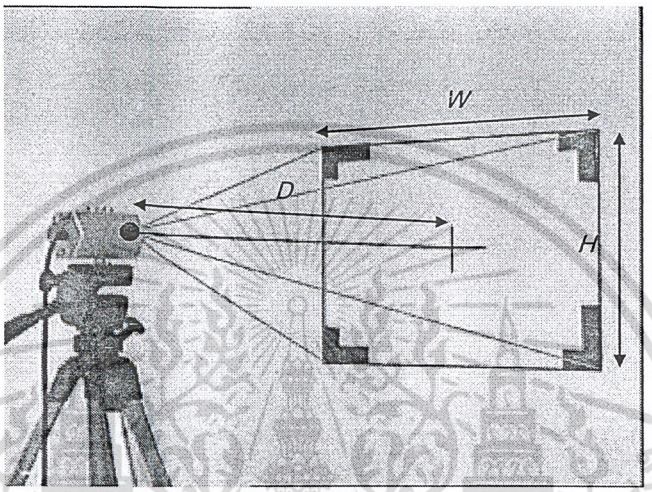


รูปที่ 3.2 การคำนวณหาระยะบนภาพ

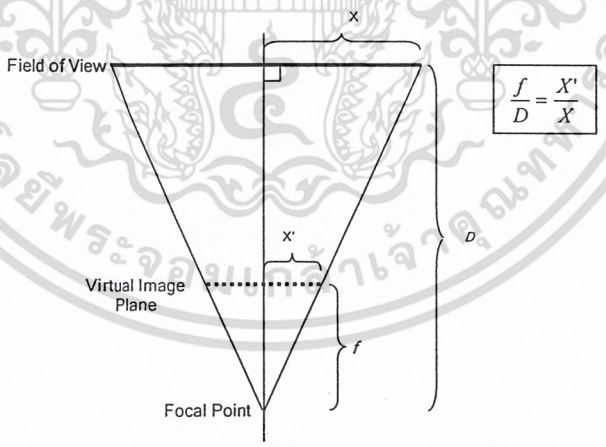
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณหาอัตราส่วนการเกิดภาพของกล้องถ่ายภาพ

การหาค่าอัตราส่วนการเกิดภาพอย่างง่ายที่สุด ทำได้โดยการตั้งกล้องให้ถ่ายผนัง โดยต้องตั้งกล้องให้เส้นสมมาตรของกล้องตั้งฉากกับผนังทั้ง 2 แกน ณ ระยะห่างหนึ่งที่วัดค่าได้ (D) จากนั้นให้กำหนดค่าโฟกัส (f) หรือขนาดฉากรับภาพ (X') ขึ้นมาค่าหนึ่ง ก็จะหาอีกค่าหนึ่งได้ ทั้งนี้ค่าที่ได้เป็นเพียงค่าสมมุติเท่านั้น เพราะเราต้องการเพียงอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสกับขนาดฉากรับภาพของกล้องเท่านั้น ก็สามารถนำไปใช้คำนวณได้แล้ว แต่ถ้าหากต้องการค่าโฟกัสจริงๆ จะไม่สามารถใช้แบบจำลองกล้องรูเข็มได้ ต้องนำขนาดของเลนส์เข้ามาคำนวณด้วย



รูปที่ 3.3 การตั้งกล้องเพื่อหาระยะโฟกัส



รูปที่ 3.4 การคำนวณหาระยะโฟกัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอ

สำหรับกล้องที่ส่งสัญญาณแบบอนาล็อกไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตาม (PAL, NTSC) นั้น การรับภาพเข้ามาในคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จับภาพ (Video Capture Device) ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล

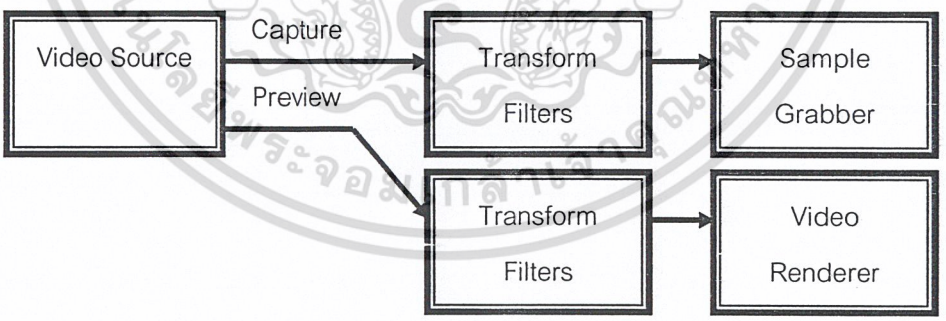
3.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อรับภาพโดยใช้ DirectShow

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อดึงภาพที่รับได้มาจากอุปกรณ์จับภาพบนระบบปฏิบัติการ Windows นั้น จะมีไลบรารีมาตรฐานสำหรับงานด้านมัลติมีเดียที่ชื่อว่า DirectX อยู่ ซึ่งจะแบ่งออกได้อีกหลายชนิด สำหรับชนิดที่จัดการภาพเคลื่อนไหวหรือภาพวิดีโอนั้นจะเป็นไลบรารีที่มีชื่อว่า DirectShow

สำหรับ DirectShow เป็นสถาปัตยกรรมมัลติมีเดียของไมโครซอฟท์ ในการจัดการด้านมัลติมีเดียที่ไม่ขึ้นต่อชนิดของอุปกรณ์รับสัญญาณ ทำให้มีความยืดหยุ่นต่ออุปกรณ์รับภาพ โดยจะทำการสร้างกราฟฟิลเตอร์ (Filter Graph) โดยการนำเอาฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ มาเชื่อมต่อกัน เพื่อให้เกิดการไหลของข้อมูลตามต้องการ ซึ่งจะแบ่งประเภทของฟิลเตอร์ได้ 3 ชนิดคือ

1. ฟิลเตอร์แหล่งกำเนิด (Source Filter) เป็นฟิลเตอร์ที่ผลิตสัญญาณมัลติมีเดีย (ภาพหรือเสียง)
2. ฟิลเตอร์แปลง (Transform Filter) เป็นฟิลเตอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลหรือแปลงสัญญาณมัลติมีเดีย
3. ฟิลเตอร์แสดงผล (Renderer Filter) เป็นฟิลเตอร์สำหรับแสดงผล

สำหรับการรับภาพจากอุปกรณ์จับภาพนั้น จะต้องสร้างกราฟฟิลเตอร์ที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.5 ตามสถาปัตยกรรม DirectShow



รูปที่ 3.5 กราฟฟิลเตอร์สำหรับการจับภาพจากอุปกรณ์จับภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฟิลเตอร์แหล่งกำเนิดจะมี 2 เอาท์พุทพิน (Output Pin) คือ Capture Pin และ Preview Pin โดย Preview Pin ใช้สำหรับการแสดงผลภาพที่รับสัญญาณจากกล้องในปัจจุบัน ส่วน Capture Pin จะนำมาเข้าฟิลเตอร์ที่เรียกว่า Sample Grabber ซึ่งจะทำหน้าที่จับภาพออกมาหนึ่งเฟรมลงบนหน่วยความจำหลัก เพื่อให้สามารถนำไปประมวลผลต่อไปได้

3.5 VideoOCX

VideoOCX เป็นส่วนประกอบชนิด ActiveX Control สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการจับภาพโดยเฉพาะ รวมถึงมีฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับการบันทึกภาพ การแสดงภาพและการประมวลผลภาพที่เหมาะสม และสามารถใช้งานง่าย ดังนั้นโครงงานนี้จึงเลือกใช้ VideoOCX เป็นส่วนประกอบในการจับภาพเพื่อบันทึกและประมวลผล เนื่องจากมีฟังก์ชันที่จำเป็นครบถ้วน และมีความเร็วในการจับภาพที่สูง สำหรับความสามารถของ VideoOCX ได้แก่

- ง่ายต่อการใช้งาน
- สามารถจับภาพสีได้ความเร็วสูงสุด (เช่น 25 fps ที่ขนาดภาพ 768x576 พิกเซล)
- บันทึกภาพที่จับได้ในรูปของไฟล์วิดีโอ AVI ในรูปแบบการเข้ารหัสได้หลายชนิด ซึ่งใช้ในการบันทึกการเคลื่อนไหวเป็นไฟล์วิดีโอโดยเลือกรูปแบบการเข้ารหัสที่ VideoOCX รองรับ คือมี Sampling Size เท่ากับ 24 บิต เช่น DIVX เป็นต้น
- บันทึกภาพที่จับได้ลงบนดิสก์
- แปลงภาพสีเป็นขาวดำได้โดยทันที
- สามารถเข้าถึงข้อมูลภาพ RGB ได้ ใช้ในการประมวลผลภาพ
- รองรับอุปกรณ์จับสัญญาณภาพแบบ PAL/NTSC ได้เป็นส่วนใหญ่
- สามารถจับภาพจากกล้องแบบ USB ได้ (Webcam)
- รองรับการเล่นไฟล์ AVI สำหรับการเปิดไฟล์วิดีโอขึ้นมาประมวลผล
- สามารถนำไปใช้พัฒนาด้วยเครื่องมือการพัฒนาโปรแกรมหลากหลาย เช่น Visual C++, Visual Basic, Delphi เป็นต้น
- นอกจากนี้ยังมี VideoOCXTools ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่เพิ่มเติมฟังก์ชันในการประมวลผลภาพอย่างง่าย (ไม่ได้ใช้ในโครงงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ เป็นทฤษฎีการวิเคราะห์ ปรุงแต่ง เก็บและแสดงรูปภาพจากแหล่งต่างๆ เช่น ภาพถ่าย ภาพวาด ภาพเคลื่อนไหว ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนนำเข้า (Input Step) ส่วนประมวลผล (Processing Step) และส่วนส่งออก (Output Step) โดยมักถูกใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลจากภาพ หรือการตกแต่งภาพ

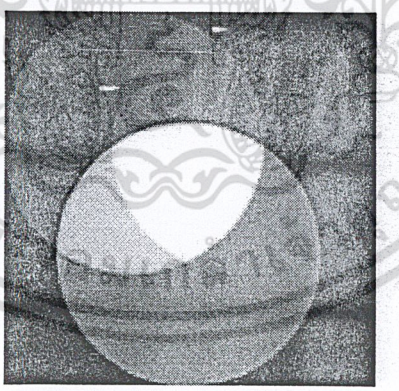
โครงงานนี้จะนำทฤษฎีการประมวลผลภาพมาใช้เพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์จากเฟรมภาพวิดีโอที่ได้บันทึกไว้ เพื่อนำตำแหน่งเหล่านี้ไปคำนวณหาตำแหน่งจริงต่อไป

4.1 รูปแบบสี (Color Model)

ก่อนที่จะทำการประมวลผลภาพสีนั้น เราจำเป็นที่จะต้องเข้าใจรูปแบบสีที่ใช้บนคอมพิวเตอร์เสียก่อน ซึ่งจะอธิบายรูปแบบที่สำคัญ 2 แบบ ได้แก่

4.1.1 รูปแบบ RGB

เป็นระบบสีพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผล โดยจุดย่อยของภาพ (Pixel) จะประกอบด้วยค่าสี 3 ค่า คือ แดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) การผสมสีทั้งสามนี้ด้วยค่าต่างๆ กัน จะก่อให้เกิดสีที่แตกต่างกัน โดยคอมพิวเตอร์จะเก็บค่าสีนี้แยกกัน โดยใช้ขนาดข้อมูล 1 ไบต์ต่อ 1 สี ทำให้ค่าของสีนั้นมีได้ 256 ระดับ และผสมได้สีทั้งหมด 16 ล้านสี

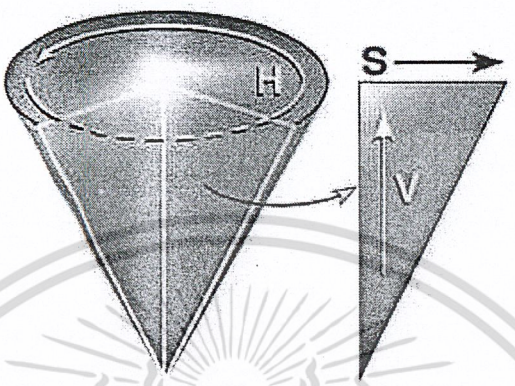


รูปที่ 4.1 รูปแบบสีแบบ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 รูปแบบ HSV

เป็นระบบสีที่ประกอบไปด้วยค่า 3 ค่าคือ ค่าสี (Hue) บอกความเป็นสีใดๆ ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) บอกความสีหรือขาว-ดำ และค่าความสว่าง (Intensity, Value) บอกความขาวหรือดำ รูปแบบสีนี้จะเหมาะกับการประมวลผลภาพที่ต้องแยกแยะสี เพราะสามารถใช้ค่า Hue เพียงค่าเดียว ก็สามารถดูความแตกต่างของสีได้



รูปที่ 4.2 รูปแบบสี HSV โดยแสดงในรูปของกรวย

4.2 Image Segmentation

เป็นการประมวลผลภาพเพื่อแยกวัตถุหรือส่วนของภาพที่เราสนใจออกมาจากส่วนอื่นๆ ซึ่งมีหลากหลายวิธีการตามแต่ลักษณะของภาพ และวัตถุที่ต้องการแยกออกมา สำหรับในโครงงานนี้ จะต้องแยกมาร์กเกอร์ซึ่งเป็นสีต่างๆ ออกมาจากพื้นหลังซึ่งประกอบไปด้วยสีขาวส่วนใหญ่ แล้วนำเอาไปหาตำแหน่งบนภาพ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.2.1 Thresholding

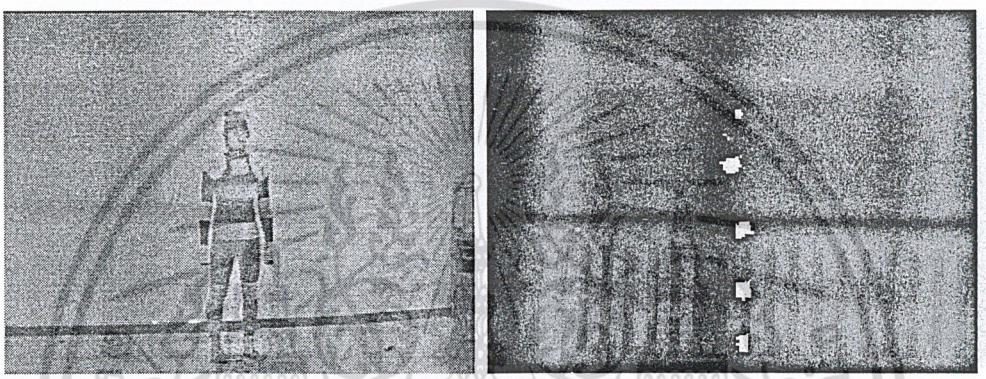
เป็นการเปลี่ยนสีของจุดย่อย (Pixel) ให้เป็นสีขาวหากค่าสีอยู่ในช่วงที่ต้องการ (Threshold Range) หากไม่อยู่ในช่วงก็จะเปลี่ยนเป็นสีดำ การทำ Threshold นี้ จะช่วยให้สามารถแยกสีที่ต้องการออกมาได้ โดยสีเหล่านี้จะอยู่เป็นกลุ่มซึ่งแสดงด้วยจุดสีขาว เรียกว่า Blob สำหรับในโครงงานนี้จะใช้ Threshold ในระบบสี HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำ Threshold มีฟังก์ชันการทำงาน ดังนี้

If (Hmin ≥ PH ≥ Hmax) AND Then PH, PS, PV = 255 (4.1)
(Smin ≥ PS ≥ Smax) AND Otherwise PH, PS, PV = 0
(Vmin ≥ PV ≥ Vmax)

โดย PH, PS, PV = ค่า Hue, Saturation, Intensity ของ Pixel ตามลำดับ
Hmin, Hmax = ค่า Hue ต่ำสุดและสูงสุดในช่วงที่ต้องการ
Smin, Smax = ค่า Saturation ต่ำสุดและสูงสุดในช่วงที่ต้องการ
Vmin, Vmax = ค่าความเข้มแสง (Intensity) ต่ำสุดและสูงสุดในช่วงที่ต้องการ



(ก) (ข)

รูปที่ 4.3 (ก) รูปภาพก่อนการทำ Threshold
(ข) รูปภาพหลังการทำ Threshold

ดังนั้นหลังจากการทำ Threshold แล้ว ภาพที่ได้จะเป็น Binary Image คือมีเพียงสีขาวและสีดำ โดยสีขาวจะเป็นจุดที่เราสนใจ ซึ่งต่อไปจะต้องนำไปประมวลผลหาตำแหน่งจุดที่เราสนใจ

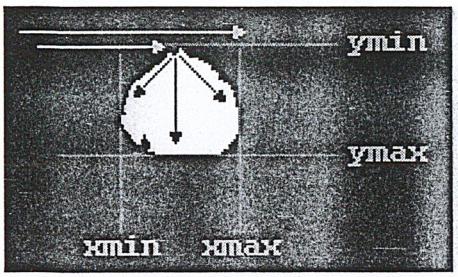
4.2.2 Blob Analysis

เป็นการประมวลผลหาตำแหน่งของ Blob (กลุ่มของจุดสีขาว) และข้อมูลอื่นๆ สำหรับประกอบการพิจารณา โดยวิธีการ Floodfill คือจะไล่ทีละจุดสีจนกว่าจะเจอจุดสีขาวแล้วจากนั้นจะวนกระจายไปตามจุดสีขาวจนครบ (เหมือนกับการเทสีในโปรแกรมแต่งภาพ) ในระหว่างที่วนนั้นก็นับจำนวนจุดและหาขอบเขตบนและล่างเพื่อให้สามารถหาจุดกึ่งกลางได้ในภายหลัง ดังรูปที่ 3

แต่เนื่องจากการทำ Threshold นั้น มักจะมีจุดที่เป็นจุดรบกวน เข้ามาด้วย ขึ้นกับช่วงสีที่ระบุว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ดังนั้นการ Floodfill หาตำแหน่ง ทำให้ยังไม่สามารถจำแนกจุดที่ต้องการออกมาได้โดยตรง ทำให้ต้องมีข้อมูลอื่นเข้ามาประกอบ เช่น ขนาดของ Blob โดยอาจพิจารณาจุดที่มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กว่าเป็น Noise และจุดที่มีขนาดใหญ่เป็นจุดที่เราสนใจ ก็จะทำให้สามารถหาตำแหน่งของวัตถุที่เราต้องการออกมา



รูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของ Blob Analysis โดยใช้วิธี Floodfill

สำหรับฟังก์ชันการทำงานของ Blob Analysis มีขั้นตอนดัง Pseudocode ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบพิกเซลไปเรื่อยๆ เมื่อเจอพิกเซลสีขาวที่ยังไม่ได้ตรวจสอบมาก่อนให้ไปทำข้อ 2
2. แสดงว่าพิกเซลนี้เป็นพิกเซลสีขาวของจุดสี (Blob) ใหม่
3. ตรวจสอบพิกเซล
4. ตรวจสอบพิกเซลข้างเคียง (Neighbor Pixels) ทั้ง 8 หากพิกเซลใดเป็นพิกเซลสีขาวที่ยังไม่ได้ผ่านมาก่อน ก็ให้วนไปตรวจสอบทุกพิกเซลจนไม่มีพิกเซลสีขาวอีก เป็นอันหมดจุดสีนั้น
5. กลับไปทำข้อ 1 จนครบทุกพิกเซลบนภาพ

หลังจากได้ทำ Floodfill จนครบแล้วเราก็จะได้ขอบเขตของ Blob นั้นออกมาด้วย ซึ่งทำให้สามารถหาตำแหน่งกลางได้จากสมการ 4.2 ข้างล่าง

$$x = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}, \quad y = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2} \tag{4.2}$$

โดย $x_{\max}, x_{\min}, y_{\max}, y_{\min}$ คือ ค่าขอบเขตทั้ง 4 ด้านของ Blob

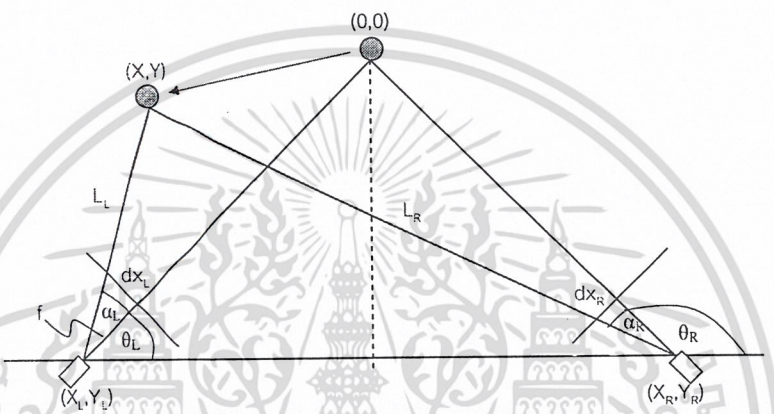
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 5

Stereopsis

ทฤษฎี Stereopsis เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการหาค่าตำแหน่งจริงของวัตถุในมุมมองแบบ 3 มิติ หรืออาจจะเรียกได้ว่าตำแหน่งใน World Space จากภาพที่มีมุมมองแบบ 2 มิติ 2 ภาพ ซึ่งในโครงงานนี้จะนำมาใช้ในการหาค่าตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์ (Marker) ที่ได้จากภาพ 2 ภาพซึ่งถ่ายโดยกล้องวิดีโอที่วางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งจากภาพทั้ง 2 ภาพนั้นจะคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ของตำแหน่งต่างๆ ตามหลักเรขาคณิต ดังรูป



รูปที่ 5.1 การหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์โดยวิธี Stereopsis

โดยทั่วไปสามารถแบ่งลักษณะของการคำนวณหาตำแหน่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การคำนวณแบบขาไปซึ่งเป็นการหาตำแหน่งจริงจากตำแหน่งบนภาพ 2 ภาพ และการคำนวณแบบย้อนกลับซึ่งเป็นการหาตำแหน่งที่จะปรากฏบนภาพจากจุดที่เรารู้ตำแหน่งจริง

5.1 การคำนวณแบบขาไป (Forward Calculation)

การคำนวณแบบขาไปนี้เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าของตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่อยู่ใน World Space จากภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 2 ตัว เพื่อนำไปใช้ในการสร้างไฟล์ข้อมูลตามสมการความสัมพันธ์ดังนี้

1. กำหนด f = 5 มม. และ ขนาดของฉากรับภาพมีค่า 3.2 x 2.4 mm^2 (ค่ามาตรฐาน)
2. จากรูปจะทราบค่า X_L, Y_L, X_R, Y_R ได้จากการกำหนดในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ และทราบว่า

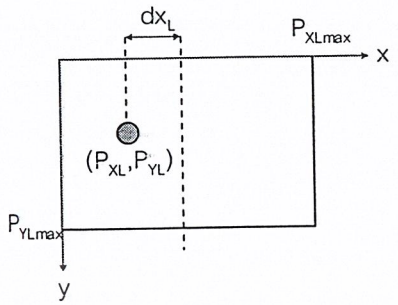
$$\theta_L = \tan^{-1}\frac{Y_L}{X_L} \qquad \theta_R = \tan^{-1}\frac{Y_R}{X_R}$$

,

61527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พิจารณาหาตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์จากภาพบนฉากรับภาพของกล้อง เพื่อหาค่า X, Y เมื่อพิจารณาจากกล้องด้านซ้ายจะได้ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของมาร์กเกอร์บนฉากรับภาพ

จากรูปที่ 5.2 เราสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

หาตำแหน่งเทียบกับกึ่งกลางภาพ จะได้ว่า

$$P'_{XL} = P_{XL} - \frac{P_{XL\max}}{2} \tag{5.1}$$

หาค่า dx ในทาง physical จากอัตราส่วนดังนี้

$$\frac{P'_{XL}}{(P_{XL\max}/2)} = \frac{dx_L}{(3.2/2)}$$

$$dx_L = 3.2\frac{P'_{XL}}{P_{XL\max}} \tag{5.2}$$

จากสมการ 5.1 และ 5.2 จึงได้ว่า

$$dx_L = 1.6\left(\frac{2P_{XL}}{P_{XL\max}} - 1\right) \tag{5.3}$$

จากรูปที่ 5.1 จะทราบว่า

$$\alpha_L = \tan^{-1}\frac{|dx_L|}{f} \tag{5.4}$$

หาค่าความชันของเส้นตรง (m) จะได้ว่า

$$\text{ถ้า } dx_L < 0 \qquad m_L = \tan(\theta_L + \alpha_L)$$

$$\text{ถ้า } dx_L \geq 0 \qquad m_L = \tan(\theta_L - \alpha_L) \tag{5.5}$$

ในกรณีเดียวกันเมื่อพิจารณารูปจากกล้องด้านขวาจะทราบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dx_R = 1.6\left(\frac{2P_{XR}}{P_{XR\max}} - 1\right)$$

$$\alpha_R = \tan^{-1}\frac{|dx_R|}{f}$$

$$m_R = \tan(\theta_R \pm \alpha_R)$$;พิจารณาตามค่า dx_R

คำนวณหาค่าของจุด (X,Y) จากความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงดังนี้

$$m_L = \frac{Y - Y_L}{X - X_L}$$

$$Y = m_L X - m_L X_L + Y_L$$

$$Y = m_L X + C_L \quad , C_L = -m_L X_L + Y_L \tag{5.6}$$

ในกรณีเดียวกันจะได้ว่า

$$Y = m_R X + C_R \quad , C_R = -m_R X_R + Y_R$$

จากคุณสมบัติของเส้นตรง เมื่อเส้นตรง 2 เส้นตัดกันจะได้ว่า

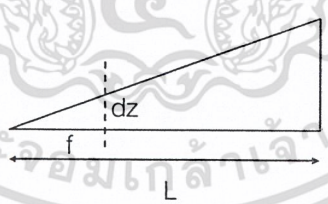
$$Y = m_L X + C_L = m_R X + C_R$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$X = \frac{C_R - C_L}{m_L - m_R} \tag{5.7}$$

$$Y = m_L\left(\frac{C_R - C_L}{m_L - m_R}\right) + C_L \tag{5.8}$$

4. พิจารณาหาค่าตำแหน่งความสูงของมาร์กเกอร์ (Z) ซึ่งสามารถพิจารณาจากกล้องตัวใดก็ได้ เนื่องจากว่าใช้การคำนวณแบบเดียวกัน ดังสมการด้านล่าง



รูปที่ 5.3 ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ในแนวแกน Z

จากรูปที่ 5.1 ทำให้ทราบว่า

$$L = \sqrt{(X - X_L)^2 + (Y - Y_L)^2} \tag{5.9}$$

และจากรูป 5.2 เมื่อพิจารณาแนวแกน Y ของภาพ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P'_{YL} = P_{YL\max} - P_{YL} - 1 \quad \text{; เปลี่ยนแนวแกน y เพื่อการคำนวณ}$$

$$P''_{YL} = P'_{YL} - \frac{P_{YL\max}}{2} \quad \text{; พิจารณาเทียบกับแนวกลางภาพ}$$

พิจารณาหาค่า dz ใน world space ได้ว่า

$$\frac{dz_L}{(2.4/2)} = \frac{P''_{YL}}{(P_{YL\max}/2)}$$

$$dz_L = 2.4\frac{P''_{YL}}{P_{YL\max}}$$

$$dy_L = 1.2\left(\frac{2P'_{YL}}{P_{YL\max}} - 1\right) \tag{5.10}$$

จากรูป 5.3 สร้างสมการความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{Z}{L} = \frac{dz}{f}$$

$$Z = \frac{dz \cdot L}{f} \tag{5.11}$$

5.2 การคำนวณแบบย้อนกลับ (Backward Calculation)

สำหรับการคำนวณแบบย้อนกลับนี้จะเป็นวิธีที่จะใช้ในการทำ Calibration เพื่อใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งในการคำนวณนั้นจะแตกต่างจากการคำนวณแบบ Forwarding เนื่องจากว่าจะทราบข้อมูลของตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่ใช้ในการทำ calibration แล้วนำมาใช้ในการคำนวณหาว่าตำแหน่งที่ได้บนภาพถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

1. ในการคำนวณจะทราบค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัด คือค่า X, Y, X_L, Y_L, X_R, Y_R, f, θ_L, θ_R
2. พิจารณาหาค่า P_{XL} จากความสัมพันธ์ตามรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ดังนี้

$$m_L = \frac{Y - Y_L}{X - X_L}$$

$$\tan\beta_L = \frac{Y - Y_L}{X - X_L}$$

$$\beta_L = \tan^{-1}\left(\frac{Y - Y_L}{X - X_L}\right) \tag{5.12}$$

3. พิจารณาค่ามุม β จะได้ว่า

- ถ้า $\beta_L \geq \theta_L$

$$\alpha_L = \beta_L - \theta_L$$

$$\alpha_R = \beta_R - \theta_R$$

- ถ้า $\beta_L < \theta_L$

$$\alpha_L = \theta_L - \beta_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_R = \theta_R - \beta_R$$

4. จากความสัมพันธ์ตามรูป 5.1 จะได้ว่า

$$dx_L = f \tan \alpha_L$$
$$dx_R = f \tan \alpha_R \qquad (5.13)$$

5. จากสมการ 5.2

$$P'_{XL} = \frac{dx_L \cdot P_{XL\max}}{3.2}$$

และจะได้ว่า

$$P_{XL} = \frac{P_{XL\max}}{2} + P'_{XL} \quad \text{เมื่อ } \beta_L < \theta_L$$

$$P_{XL} = \frac{P_{XL\max}}{2} - P'_{XL} \quad \text{เมื่อ } \beta_L \geq \theta_L \qquad (5.14)$$

6. พิจารณาหาค่า P_{YL}

- เนื่องจาก

$$dz = \frac{z \cdot f}{L_L}$$

$$P'_{YL} = \frac{P_{YL\max} \cdot dz}{2.4}$$

$$P'_{YL} = P''_{YL} + \frac{P_{YL\max}}{2}$$

- จะได้ว่า

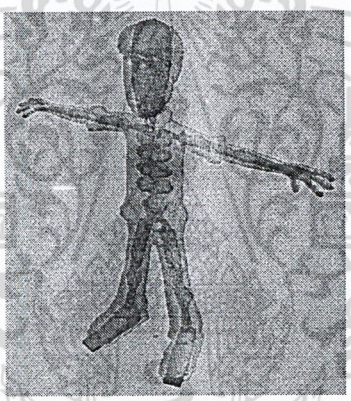
$$P_{YL} = P_{YL\max} - P'_{YL} - 1 \qquad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

Character Studio Motion File

ไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว (Motion Data File) คือ ไฟล์ที่เก็บข้อมูลลักษณะการเคลื่อนไหวของโครงกระดูก (Skeleton) ซึ่งมีใช้งานอยู่ในโปรแกรมที่ใช้สร้างตัวละครแบบ 3 มิติ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างลักษณะการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ออกแบบไว้แล้วได้อย่างง่ายดาย โดยที่ไม่ต้องคอยกำหนดตำแหน่งของร่างกายของตัวละครในแต่ละเฟรมของการสร้าง Animation ของตัวละครนั้นๆ เอง แต่หันมาใช้ไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวมาช่วยในการสร้างการเคลื่อนไหวที่ต้องการ โดยการเก็บเอาลักษณะการเคลื่อนไหวจากคนหรือโมเดลที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับตัวละครที่สร้างไว้แทน ด้วยการติดมาร์กเกอร์ไว้ตามตำแหน่งที่ต้องการ และมีความสอดคล้องกับตัวละคร 3 มิติที่สร้างขึ้น แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้นั้นไปใช้ในการกำหนดการเคลื่อนไหวของตัวละครอีกทีหนึ่ง สำหรับการทำงานในลักษณะนี้นั้นคือการสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped) ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างการเคลื่อนไหวของตัวละครได้อย่างเร็ว และยังมีความสมจริงมากขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างของ biped ที่ใช้ในการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร

สำหรับการเก็บข้อมูลของตำแหน่งของมาร์กเกอร์แต่ละจุดนั้น จะได้มาจากการคำนวณตามทฤษฎี Stereopsis และไฟล์ข้อมูลที่ใช้นั้นมีโครงสร้างอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งลักษณะโครงสร้างนั้นจะแตกต่างกัน แต่ที่เป็นที่นิยมใช้กันได้แก่ ไฟล์สกุล *.csm, *.bvh, *.trd, *.c3d และ *.fbx ซึ่งในที่นี้จะอธิบายเฉพาะไฟล์ที่อยู่ในรูปไฟล์ที่มีสกุลเป็น *.csm เท่านั้น เนื่องจากไฟล์ประเภทนี้นั้น เป็นไฟล์มาตรฐานของ Character Studio Marker ซึ่งข้อมูลจะเก็บอยู่ในรูปของ ASCII-based และเก็บเพียงแค่ค่าตำแหน่ง x, y และ z ของมาร์กเกอร์แต่ละอันที่ติดอยู่กับผู้แสดงไว้เท่านั้น ทำให้โครงสร้างของไฟล์นั้นเก็บได้ง่าย และรวดเร็วในการตอบสนองอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
$Date 12/03/2548
$Time 1:04:32
$Filename D:\Videos\Animation Studio\Pack01\Hanuman.csm
$Actor Zensuie

$Comments
Created by Motion Analyser : 3D Character Animation Studio v2.1

$FirstFrame 1
$LastFrame 149
$Rate 25

$Order
LFHD LBHD RFHD RBHD C7 CLAV T10 STRN LSHO LELB LFIN RSHO RELB RFIN LFWT LBWT RFWT RBWT
LKNE LANK LTOE RKNE RANK RTOE LWRE LWRI RWRE RWRI LKNI LHEL LMT5 LMTI RKNI RHEL RMT5
RMTI

$Points
1   115.438 -93.475 1083.692  113.279 97.176 1091.121 ……. 123.213 836.799 995.148
2   115.525 -93.475 1083.260  113.192 97.176 1091.207 ……. 129.260 838.526 995.320
3   115.438 -93.734 1082.828  112.933 96.917 1091.293 ……. 137.725 841.377 995.407
…
149   63.262 -85.786 1069.352  67.927 104.778 1077.126 …….  242.423 958.514 1133.967
```

รูปที่ 6.2 ตัวอย่างไฟล์ CSM

ตัวอย่างไฟล์แบบ CSM จากรูปที่ 6.2 สามารถอธิบายโครงสร้างในแต่ละส่วนได้ดังนี้

- $Date คือ ส่วนที่เป็นคำอธิบายที่ใช้บอกวันที่เขียนขึ้น
- $Time คือ ส่วนที่เป็นคำอธิบายที่ใช้บอกเวลาที่เขียนขึ้น
- $Filename คือ ส่วนที่เป็นคำอธิบายที่ใช้ชื่อของไฟล์ข้อมูล
- $Actor คือ ส่วนที่เป็นคำอธิบายที่แสดงชื่อผู้เขียน
- $comments คือ ส่วนที่รวบรวมคำอธิบายต่างๆ ที่ต้องการใส่ไว้ในไฟล์เพื่ออธิบายส่วนต่างๆ ของไฟล์ เช่น บอกว่าเป็นไฟล์ที่แสดงการเคลื่อนไหวอย่างไร
- $firstframe {number} คือ ส่วนที่ระบุว่าเฟรมแรกของข้อมูลอยู่ที่ข้อมูลลำดับเท่าไหร่
- $lastframe {number} คือ ส่วนที่ระบุว่าเฟรมสุดท้ายของข้อมูลอยู่ลำดับที่เท่าไหร่นับจากเฟรมแรก ซึ่งในบางโปรแกรมอาจจะเกิด error ขึ้นได้ถ้าแปลข้อมูลในส่วนนี้ผิด
- $rate {number} คือ ส่วนที่กำหนดค่าจำนวน frame rate ของข้อมูล
- $order {name1}{name2}.... คือ ส่วนที่อธิบายชื่อของมาร์กเกอร์ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอ้างอิงถึง และข้อมูลของมาร์กเกอร์แต่ละตำแหน่งที่ได้จากส่วน point นั้นจะเรียงตามชื่อที่ได้กำหนดไว้เป็นลำดับ ตามลำดับที่สอดคล้องกัน
- $points คือ ส่วนที่เก็บค่าตำแหน่ง x, y, z ของมาร์กเกอร์แต่ละจุดไว้ โดยที่เก็บข้อมูลเป็นแถวเรียงกันไปเป็นชุด ตาม data rate ที่ได้กำหนดไว้ด้านบน ซึ่งในการอ้างอิงถึงข้อมูลจะอ้างอิงจากตำแหน่งเฟรมแรก จนถึงเฟรมสุดท้ายตามค่า firstframe และ lastframe ที่ได้กำหนดไว้ และข้อมูลของมาร์กเกอร์แต่ละตัวจะเรียงตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ในส่วน order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแปลข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM ที่ใช้ในการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครนั้น ข้อมูลที่ได้จากการแปลไฟล์ประเภทนี้จะไม่มีการกำหนดความสัมพันธ์ของมาร์กเกอร์แต่ละตัว แต่จะอ่าน และอ้างอิงค่าต่างๆ ตามลำดับที่ได้กำหนดไว้เท่านั้น จะไม่มีการเปลี่ยนอัตราส่วนของข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น โดยข้อมูลที่ใส่ไว้นั้นจะเป็นข้อมูลของตำแหน่งมาร์กเกอร์ใน World Space หากต้องมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของข้อมูล ผู้ที่นำไฟล์ไปใช้จะต้องเป็นคนเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของข้อมูลเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ ในโปรแกรม 3D Studio Max

การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ หรือ Character Animation นั้น ในความเป็นจริงนั้นก็เป็นการทำ 3D Animation อย่างหนึ่งเหมือนกับงาน 3D Animation ทั่วๆ ไป เพียงแต่การทำ Character Animation นั้นจะใช้เรียกระบุเฉพาะกับงานที่จะต้องมีการทำงานเกี่ยวข้องกับวัตถุ (Object) หรือฉาก (Scene) ที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหว (Animation) ในลักษณะของมนุษย์ หรือสัตว์ ซึ่งจะมีการทำงานที่ยุ่งยากกว่าการทำ Animation อย่างอื่นๆ โดยเริ่มต้นตั้งแต่การทำหุ่นตัวละคร (Character Model) การทำ Character Setup จนถึงการทำ Animation ซึ่งทุกอย่างทุกขั้นตอน ล้วนแล้วแต่จะต้องใช้ความชำนาญเฉพาะทางทั้งสิ้น

7.1 Character Setup

Character Setup เป็นขั้นตอนหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในการทำงาน Character Animation เสมอ กล่าวได้ว่าการทำ Character Animation นั้นไม่มีทางทำได้เลยหากไม่มีการทำ Character Setup

การทำ Character Setup คือ การนำเอาหุ่นตัวละครที่ได้สร้างไว้แล้ว มาทำการสร้างส่วนของกระดูก (Bone) เพื่อกำหนดข้อต่อในการเคลื่อนไหว การกำหนดการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวและกระดูกในส่วนต่างๆ การกำหนด IK (Inverse Kinematics) การกำหนดจุดสูงสุดของมุมข้อพับ (Limit) และการกำหนดจุดควบคุมหุ่นตัวละคร (Control Point) ซึ่งการเตรียมงานเหล่านี้ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการสร้างการเคลื่อนไหว (Animation) ให้เป็นไปได้อย่างสมจริง

7.2 Character Studio

Character Studio เป็นเครื่องมือเสริม (plug-in) สำหรับช่วยในการทำงานด้าน Character Animation โดยจะมีเครื่องมือต่างๆ ที่จะช่วยให้สามารถทำ Character Animation ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยที่มีความสามารถต่างๆ ดังนี้

1. การสร้างกระดูก (Bone) ให้กับตัวละคร
2. การ Set IK ให้กับกระดูก
3. การจัดแต่งผิวหนัง (Set Skin)
4. การจัดทำ Animation ให้กับตัวละครได้อย่างสะดวก และรวดเร็วกว่าการใช้เครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรม 3D Studio Max

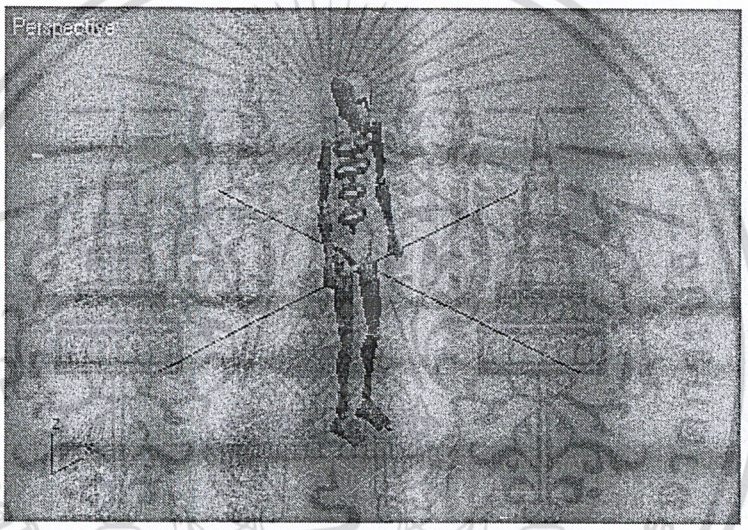
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Character Studio นั้นจะประกอบด้วย Plug-in ย่อย 3 ส่วนการทำงานหลัก คือ

1. Biped
2. Physique
3. Crowd

7.2.1 Biped

Biped เป็นชุดโครงกระดูกของมนุษย์สำเร็จรูปที่เอาไว้ใช้งานแทนกระดูก (Bone) แบบเดิมที่ใช้งานในโปรแกรม 3D Studio Max ซึ่งทำให้ช่วยลดขั้นตอนในการสร้างกระดูก และการเชื่อมต่อกระดูกให้เป็นรูปร่างตัวละคร การทำงานที่เกี่ยวข้องกับการ Setup IK รวมทั้งการตั้งชื่อให้กับกระดูกแต่ละชิ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เสียเวลามาก โดยเฉพาะงานที่ต้องมีตัวละครมากๆ

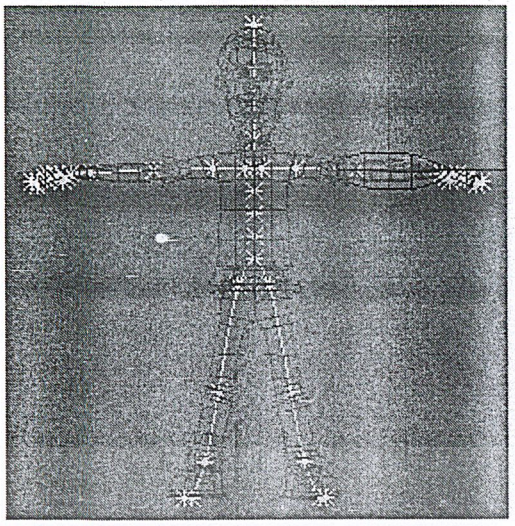


รูปที่ 7.1 ตัวอย่างของโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)

7.2.2 Physique

Physique เป็นชุดคำสั่งที่ทำหน้าที่กำหนดว่าพื้นที่ส่วนใดของพื้นผิววัตถุตัวละครจะต้องไปถูกยึดเข้ากับกระดูกชิ้นใดบ้าง หรือจะเรียกได้ว่าเป็นการทำ Skin Modifier แบบหนึ่ง โดยที่ Physique นั้นจะมีรูปแบบการทำงานที่เอื้ออำนวยต่อการทำงานในลักษณะของการกำหนดพื้นผิวกล้ามเนื้อให้กับตัวละครมากกว่าเมื่อเทียบกับ Skin Modifier แบบเดิมๆ เนื่องจากว่ามี Envelope ที่ใช้ในการระบุบริเวณของพื้นผิวที่จะยึดเข้ากับกระดูกเป็นรูปปลายแหลมซึ่งมีลักษณะคล้ายกับลูกรักบี้ และสามารถที่จะโค้งงอลื่นไหลไปตามข้อต่อกระดูกที่อยู่ในลำดับสูงขึ้นไปได้

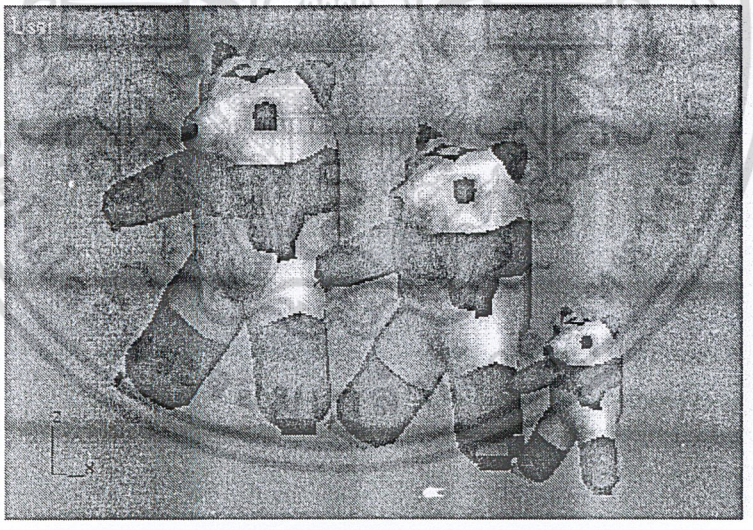
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างของการทำ Physique

7.2.3 Crowd

Crowd เป็นชุดเครื่องมือสำหรับการสร้าง Animation ให้กับตัวละครในลักษณะกลุ่มใหญ่ๆ ที่มีการเคลื่อนไหวที่ซ้ำๆ กัน เช่น ฝูงนกกำลังบิน หรือกลุ่มคนที่กำลังเดินหรือวิ่งในที่โล่งๆ โดยที่ไม่ต้องไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครทีละตัว



รูปที่ 7.3 ตัวอย่างของการทำ Crowd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 Keyframe Animation

Keyframe Animation เป็นหลักการทำ Animation ขั้นพื้นฐาน โดยการนำเอาภาพนิ่งที่ต่อเนื่องกันจำนวนมากๆ มาเปิดทีละภาพต่อกันด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะทำให้ภาพชุดนั้นๆ ดูเป็นภาพเคลื่อนไหวขึ้นมา ภาพแต่ละภาพที่ถูกเปิดขึ้นมาทีละภาพนั้นเรียกว่า Frame โดยหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของ Animation นั้นจะวัดมาจากจำนวนของภาพหรือ Frame ที่ถูกเปิดขึ้นในช่วงเวลา 1 วินาที (FPS.)

สำหรับการทำ Animation ในงาน 3 มิติ นั้นยังอาศัยหลักการเดียวกันนี้ แต่ได้มีการลดขั้นตอนการทำงานให้ย่นย่อสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น เรียกว่าการทำ Animation แบบ In-Between Frame ซึ่งการทำ Animation ในลักษณะนี้จะทำให้สามารถกำหนดให้มี Frame บาง Frame ทำหน้าที่เป็นตัวบันทึกจังหวะในการเคลื่อนที่ของวัตถุในแต่ละช่วงเวลาใน Scene ซึ่งจะเรียก Frame ที่ทำหน้าที่บันทึกการเคลื่อนไหวของวัตถุนั้นว่า Key Fame สำหรับการทำ Animation ในแบบของการกำหนด Key Frame นั้นจะทำโดยการนำเอาตำแหน่งของวัตถุในแต่ละ Key Frame มาคำนวณหาความเป็นไปได้ของตำแหน่งใน Frame ที่อยู่ระหว่าง Key Frame แบบอัตโนมัติ ทำให้ช่วยลดเวลาได้อย่างมากในการสร้าง 3D Animation

7.4 การทำ Animation ด้วยไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว

สำหรับการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร (Character Animation) โดยการใช้ไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวช่วยในการสร้างการเคลื่อนไหวนั้นแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้

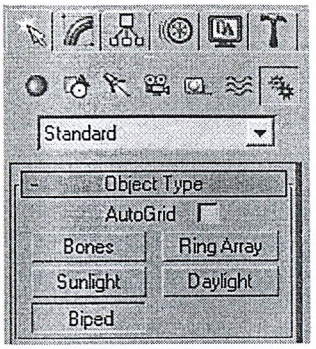
1. สร้างตัวละครที่มีลักษณะตามต้องการ
2. สร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป(Biped) ที่มีรูปร่าง และข้อต่อสัมพันธ์กับโมเดลที่สร้างไว้
3. นำเข้าไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM ให้กับโครงกระดูกสำเร็จรูปที่สร้างไว้
4. ทำการยึดโครงกระดูกสำเร็จรูปเข้ากับโมเดลตัวละครที่ได้สร้างไว้

ขั้นตอนเหล่านี้เป็นหลักการของโปรแกรมออกแบบโมเดล 3 มิติทั่วไป สำหรับในการศึกษาและพัฒนาระบบได้ใช้โปรแกรม 3D Studio Max และโปรแกรม Character Studio ซึ่งเป็น Plug-in ของโปรแกรมเป็นหลักซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครด้วยไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM ที่ได้จากการวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์ในกระบวนการก่อนหน้านี้ได้ดังนี้

7.4.1 การสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)

หลังจากที่ได้ลงโปรแกรม 3D Studio Max และ Plug-in Character Studio แล้ว เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้งานจะสามารถสร้างหุ่นที่เป็นโครงกระดูกสำเร็จรูปได้ โดยเลือกที่แถบเครื่องมือใน Tab Create ดังรูปที่ 7.4 แล้วลากเพื่อสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped) บนพื้นที่ทำงาน

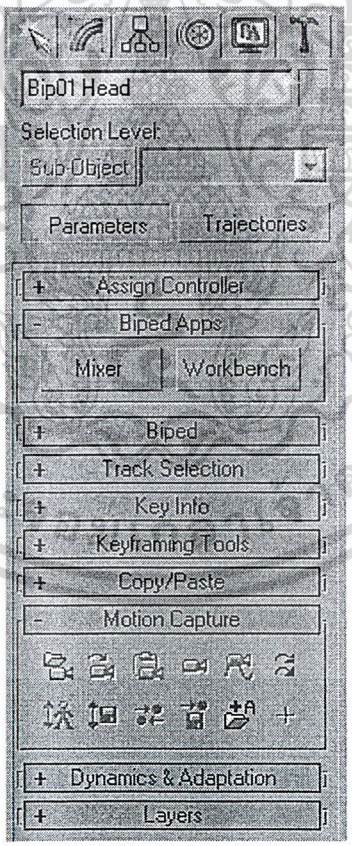
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)

7.4.2 การนำไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM มาใช้งาน

เมื่อมีการสร้างโครงกระดูกสำเร็จรูปขึ้นมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปในการสร้างการเคลื่อนไหวให้โครงกระดูกสำเร็จ คือ การนำเข้าไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM เพื่อสร้างข้อมูลการเคลื่อนไหวให้กับโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้สร้างขึ้นนั้น โดยการนำเข้าไฟล์ข้อมูลสามารถทำได้ด้วยการเลือกแถบเครื่องมือใน Tab Motion ในส่วนของ Motion Capture ดังรูปด้านล่าง แล้วเลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ



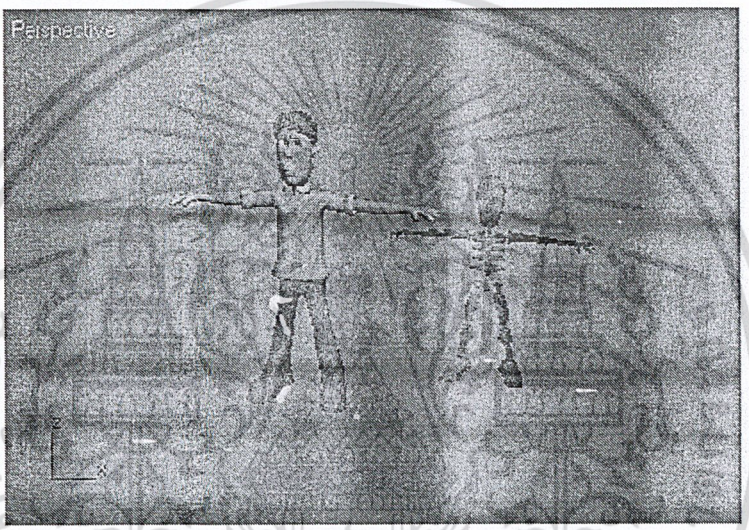
รูปที่ 7.5 เครื่องมือที่ใช้ในการนำเข้าไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 การนำหุ่น Biped ไปใช้งาน

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างการเคลื่อนไหวให้กับโมเดลตัวละครที่ได้ออกแบบ และทำไว้แล้วด้วยการนำเข้าไฟล์ข้อมูลบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion Data File) ให้กับโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped)แล้วนำโครงกระดูกสำเร็จรูปไปยึดเข้ากับโมเดลตัวละครที่ได้สร้างไว้อีกทีหนึ่ง โดยการใช้เครื่องมือ Freeze Selection ใน Popup Menu กับโมเดลตัวละคร หลังจากนั้นทำการจัดรูปร่างท่าทาง ขนาด และตำแหน่งของข้อต่อส่วนต่างๆ ของโครงกระดูกสำเร็จรูป (Biped) ให้เข้ากับโมเดลตัวละคร เมื่อจัดรูปร่างของโครงกระดูกสำเร็จรูปได้เหมาะสมแล้วให้ทำการ Unfreeze โมเดลตัวละครด้วยเครื่องมือ Unfreeze all ใน Popup Menu และสุดท้ายคือการทำ Attach to Node ในแถบเครื่องมือ Modify ในส่วนของ Physique ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

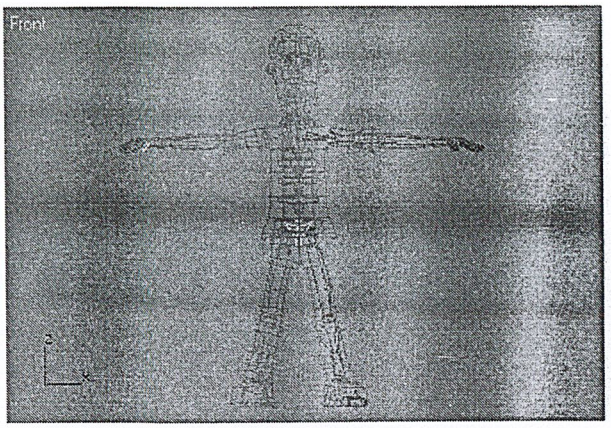
1. สร้างตัวละคร 3 มิติ และโครงกระดูกสำเร็จรูปขึ้นมา



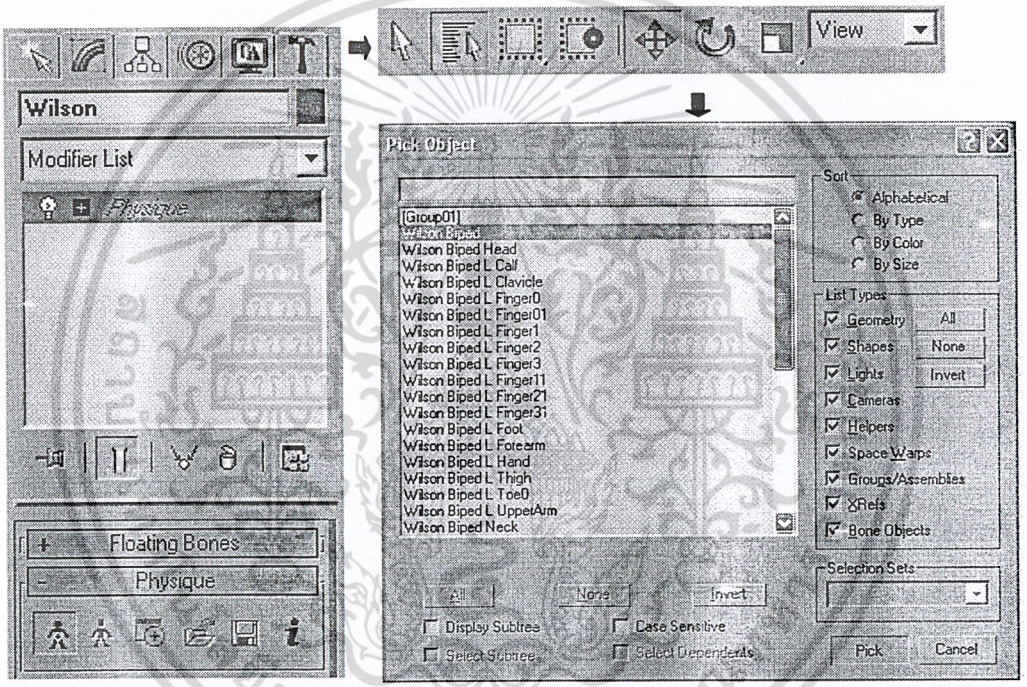
รูปที่ 7.6 โมเดลตัวละคร และโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ทำการนำเข้าไฟล์การเคลื่อนไหวไว้

2. นำโครงกระดูกสำเร็จรูปที่นำเข้าข้อมูลการเคลื่อนไหวแล้ว จัดตำแหน่งและขนาดให้พอดีกับตัวละคร 3 มิติ ดังรูปที่ 7.7 และยึดเข้ากับตัวละคร 3 มิติตามขั้นตอนในรูปที่ 7.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 โครงกระดูกสำเร็จรูปที่จัดรูปร่างให้เหมาะกับโมเดลตัวละครแล้ว



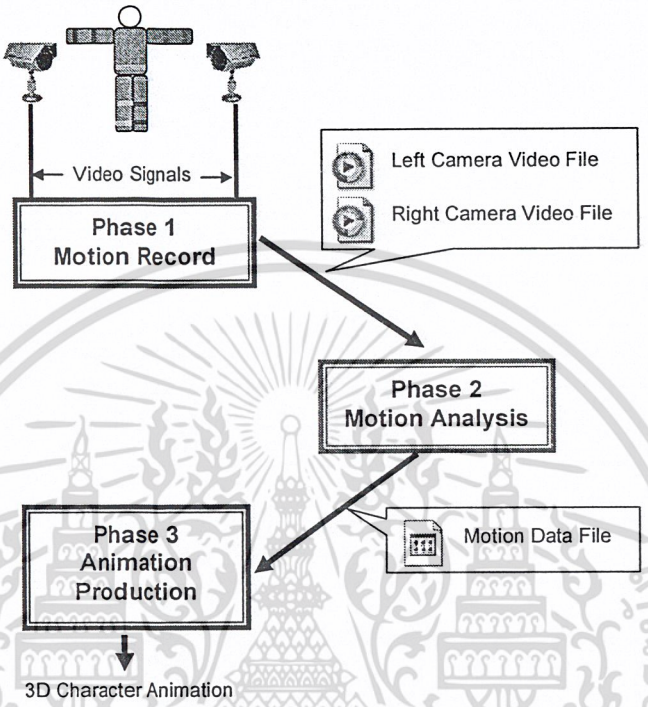
รูปที่ 7.8 ตัวอย่างการทำ Attach to Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การออกแบบระบบ

8.1 ระบบโดยรวม (System Overview)

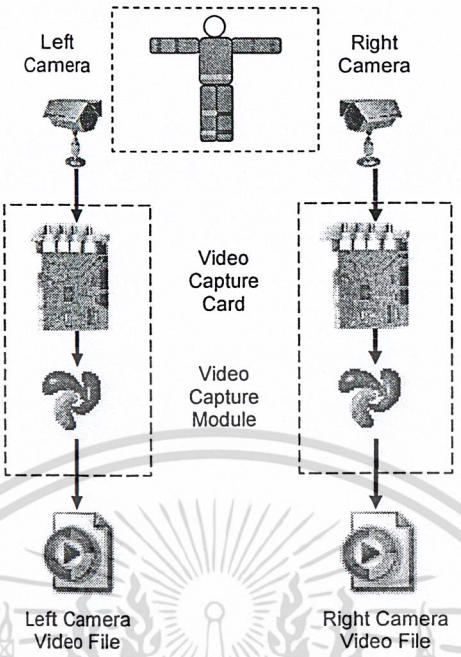


รูปที่ 8.1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ

1. การบันทึกภาพการเคลื่อนไหว (Motion Record) เป็นส่วนที่ต้องจัดเตรียมกล้อง สถานที่ และผู้แสดง (Actor) เพื่อทำการบันทึกเป็นภาพวิดีโอจากกล้องทั้ง 2 ตัวเป็นไฟล์ชนิด AVI ซึ่งอาจจะมีการเข้ารหัสเพื่อบีบอัดข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เช่น DIVX เป็นต้น
2. การวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหว (Motion Analysis) โดยใช้กระบวนการการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งมาร์กเกอร์แต่ละจุดจากไฟล์วิดีโอที่ได้จากข้อ 1 ในแต่ละเฟรม จากนั้นจะทำการจับคู่เพื่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งจริง (World Coordinate) แล้วบันทึกลงไฟล์บันทึกการเคลื่อนไหว (Motion Data File) ชนิด CSM โดยมีการปรับแต่งแก้ไขข้อมูลในขั้นนี้ด้วย
3. การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร (Animation Production) เป็นขั้นตอนที่จะนำเอาไฟล์บันทึกการเคลื่อนไหว (Motion Data File) ไปใส่ให้กับตัวละคร 3 มิติในโปรแกรม 3ds Studio Max เพื่อสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การบันทึกภาพการเคลื่อนไหว (Motion Record)



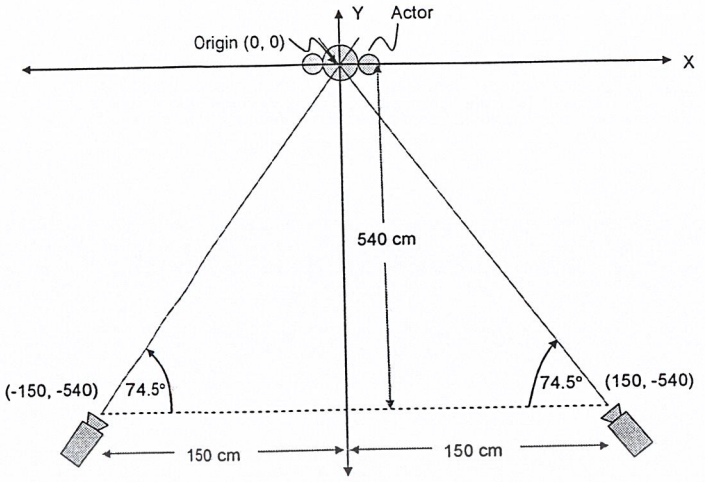
รูปที่ 8.2 แผนผังแสดงระบบการทำงานในขั้นตอนการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 8.2 เป็นแผนผังแสดงโครงสร้างระบบในส่วนการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว โดยการรับสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกแบบ PAL มาเข้าการ์ดรับสัญญาณภาพ (อุปกรณ์จับภาพ) จากนั้นตัว VideoOCX จะทำการจับภาพแล้วบันทึกลงไฟล์ตามรูปแบบการเข้ารหัสที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้แล้ว ในขั้นตอนนี้ยังรวมไปถึงการจัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่ต่างๆ เพื่อให้พร้อมสำหรับการบันทึกอีกด้วย

8.2.1 การติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอ

โครงงานนี้จะติดตั้งกล้องจำนวน 2 ตัวให้อยู่บนระนาบเดียวกัน โดยกล้องทั้ง 2 ตัว จะอยู่บริเวณด้านหน้าซ้ายและขวา และหันให้แกนกลางมาตัดกันที่จุดกำเนิดพอดี เพื่อให้สามารถคำนวณตามสมการในหัวข้อ Stereopsis ได้ ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



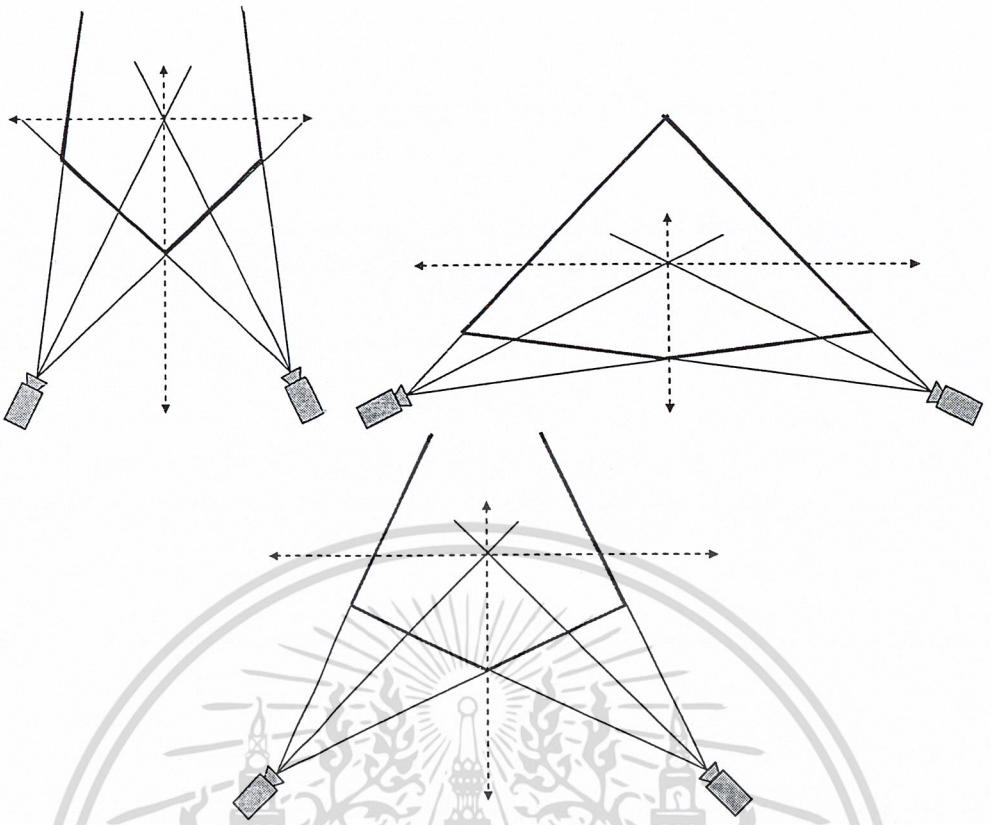
รูปที่ 8.3 การวางตำแหน่งกล้อง

การวางตำแหน่งกล้องที่ดีที่สุดจำเป็นที่จะต้องให้เห็นผู้แสดง (Actor) ได้ทั้งตัว รวมถึงต้องเผื่อบริเวณไว้ส่วนหนึ่งสำหรับการเคลื่อนไหวร่างกายด้วย ดังนั้นจึงต้องวางกล้องให้ห่างจากผู้แสดงระดับหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองรับภาพพบว่าควรวางกล้องห่างจากผู้แสดงอย่างน้อย 5 เมตร จึงจะเห็นได้ทั้งตัว ในที่นี้จะเลือกใช้ระยะห่างในแนวแกน Y 540 เซนติเมตร ระยะในแนวแกน X 150 เซนติเมตร และความสูงจากพื้น 123 เซนติเมตร จะได้ระยะจากกล้องถึงผู้แสดงประมาณ 516 เซนติเมตร

สำหรับมุมการวางกล้องนั้น สามารถเลือกวางได้ในมุมต่างๆ กัน ซึ่งก็จะได้พื้นที่ที่สามารถเคลื่อนไหวได้แตกต่างกันไปดังรูปที่ 8.4 แต่ไม่ควรวางในมุมที่กว้างเกินไปหรือแคบเกินไป เพราะจะมีผลต่อการคำนวณ Stereopsis ที่จะให้ค่าความผิดพลาดมากขึ้น จากการทดลองพบว่าการวางกล้องที่มุม 45 องศาจะทำให้ได้มุมมองบริเวณในแนวกว้างและลึกเท่าๆ กัน ไม่แคบด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งจะทำให้สามารถเคลื่อนไหวในบริเวณที่กว้างกว่า แต่เนื่องจากการใช้กล้องเพียง 2 ตัวไม่สามารถจะทำให้มองเห็นมาร์กเกอร์ทุกตัวได้ในทุกๆ การเคลื่อนไหว ซึ่งจะพบว่ามีการบดบังของมาร์กเกอร์จำนวนมาก ดังนั้นการเลือกมุมการวางกล้องจึงต้องเลือกมุมที่สามารถมองเห็นมาร์กเกอร์ได้ดีที่สุด และลดการบดบังของมาร์กเกอร์จากการเคลื่อนไหวได้มากที่สุดก่อน และด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ ผนวกกับการวางกล้องที่ไกลเกินไปจะทำให้ภาพมาร์กเกอร์มีขนาดเล็กลง ซึ่งก็จะทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกวางกล้องในมุมดังรูปที่ 8.3

อย่างไรก็ดี ตำแหน่งของกล้องนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และไม่จำเป็นต้องวางให้สมมาตรกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่หรือบริเวณในการบันทึก และการเคลื่อนไหวของผู้แสดงว่ามีการเคลื่อนไหวมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

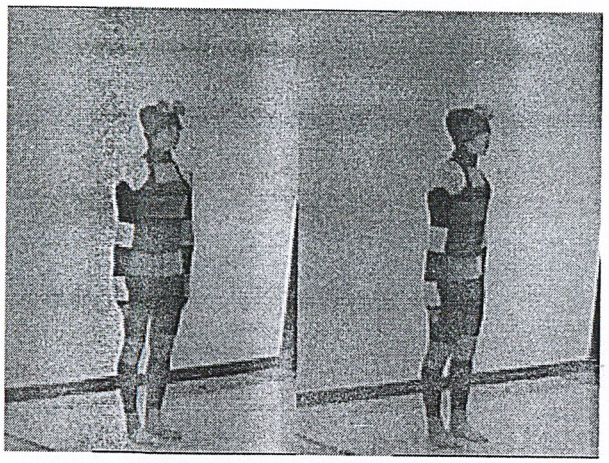


รูปที่ 8.4 แสดงพื้นที่ที่สามารถตรวจจับได้จากการวางกล้องถ่ายภาพวิดีโอในมุมต่างๆ

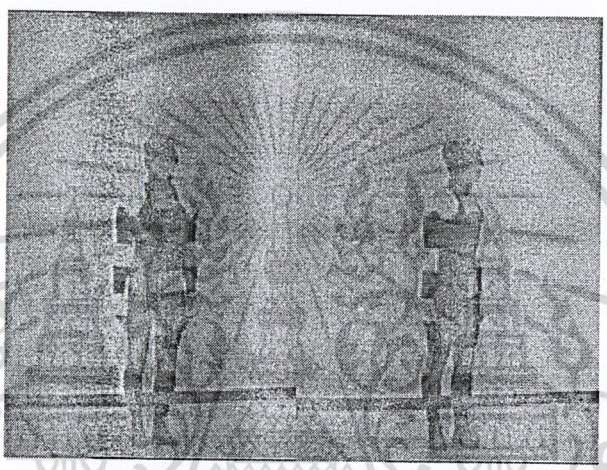
(ก)

รูปที่ 8.5 (ก) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-450, -180)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 8.5 (ต่อ) (ข) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-330, -390)
(ค) ภาพตัวอย่างที่ได้จากกล้อง ณ ตำแหน่ง (-150, -540)

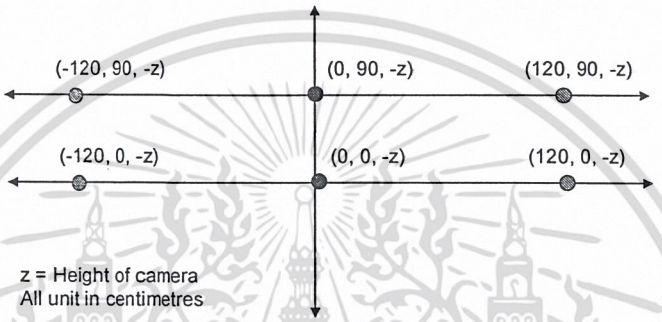
จากรูปที่ 8.5 เป็นภาพตัวอย่างที่ได้จากการวางกล้องในมุมต่างๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเกิดการบดบังของมาร์กเกอร์ที่แตกต่างกันไป ในรูปที่ 8.5 (ก) เป็นการวางกล้อง ณ ตำแหน่ง (-450, -180) (มุมประมาณ 21.8 องศา) สังเกตว่าในมุมนี้จะเกิดการบดบังของมาร์กเกอร์บนแขนซ้ายทั้งหมดในทันที รูปถัดมา 8.5 (ข) เป็นการวางกล้อง ณ ตำแหน่ง (-330, -390) (มุมประมาณ 50องศา) มุมนี้สามารถเห็นมาร์กเกอร์ได้ทุกตัว แต่เมื่อหันตัวไปก็จะเกิดการบดบังทันที และรูปที่ 8.5 (ค) เป็นการวางกล้อง ณ ตำแหน่ง (-150, -540) (มุมประมาณ 74.5 องศา) สามารถที่จะบิดตัวได้มากขึ้นจนกว่าจะเกิดการบดบังของมาร์กเกอร์ ดังนั้นโครงงานนี้จึงเลือกการวางกล้องที่มุมสูงๆ แต่ไม่สูงจนเกินไปเพราะจะทำให้การคำนวณค่า Stereopsis มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2 การจัดวางกล้องให้ตรงตำแหน่ง (Camera's Position Calibration)

หลังจากเลือกตำแหน่งกล้องแล้ว การวางตำแหน่งกล้องให้ถูกต้องนั้นจะใช้วิธีวางจุดมาร์กเกอร์ที่รู้ตำแหน่งแน่นอนจำนวนหนึ่ง จากนั้นใช้การคำนวณย้อนกลับเพื่อหาว่าจุดต่างๆ เหล่านั้น ควรจะปรากฏบนภาพ ณ ตำแหน่งใดสำหรับกล้องนั้น จากนั้นจะปรับกล้องให้ภาพมาร์กเกอร์ที่ได้ตรงกับจุดที่คำนวณได้ ก็จะทำให้สามารถวางตำแหน่งกล้องได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

สำหรับโครงงานนี้จะใช้วิธีติดมาร์กเกอร์ที่ทำจากกระดาษสีลงบนพื้น ในตำแหน่งดังรูปข้างล่าง โดยใช้การวัดด้วยตลับสายวัด ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่ม จากนั้นจะใช้โปรแกรมรับภาพจากกล้อง โดยมาร์กตำแหน่งบนภาพที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับจากตำแหน่งจริงของมาร์กเกอร์เหล่านั้น จากนั้นปรับกล้องเพื่อให้มาร์กบนภาพตรงกับมาร์กเกอร์บนพื้น ดังตัวอย่างภาพในรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.6 แสดงการวางตำแหน่งมาร์กเกอร์ลงบนพื้นสำหรับการทำ Calibration

รูปที่ 8.7 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรมขณะทำ Calibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดตำแหน่งที่ใช้ในการจัดตำแหน่งกล้องนั้นควรจัดให้จุดอยู่ในตำแหน่งที่ไปปรากฏบนภาพห่างจากกึ่งกลางภาพในแนวตั้งมากที่สุด เพื่อให้สามารถปรับได้แม่นยำมากที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นกับการวางตำแหน่งกล้องด้วย แต่สำหรับตำแหน่งกล้องที่ใช้ในโครงงานนี้ดังรูปที่ 8.3 นั้น จากการทดลองพบว่าการวางจุดสัญลักษณ์สีบนพื้นดังรูปที่ 8.6 นั้น มีความเหมาะสมที่สุดดังภาพที่ได้ในรูปที่ 8.7

หลังจากติดจุดสัญลักษณ์บนพื้นแล้วต้องพยายามปรับกล้องให้ตำแหน่งที่คำนวณได้ว่าจุดไหนจะปรากฏบนภาพ ณ ที่ใด ไปตรงกับตำแหน่งจริงที่เห็นบนภาพให้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ตัวกล้องจะมีเลนส์ซึ่งอาจจะทำให้ภาพเกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ไปบ้าง ดังนั้นอาจจะทำให้ตำแหน่งไม่ตรงกันพอดี แต่ก็ควรปรับให้ใกล้เคียงที่สุด อย่างไรก็ดีค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นไม่ค่อยมีผลต่อการเคลื่อนไหวที่จะจับได้มากนัก เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดจากการตั้งกล้องนี้ จะมีผลต่อค่าที่คำนวณได้ ซึ่งก็คือตำแหน่งจริง (Absolute Position) ของจุดข้อต่อต่างๆ แต่ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้น เราสนใจเฉพาะตำแหน่งที่เปลี่ยนไป (Relative Position) มากกว่า

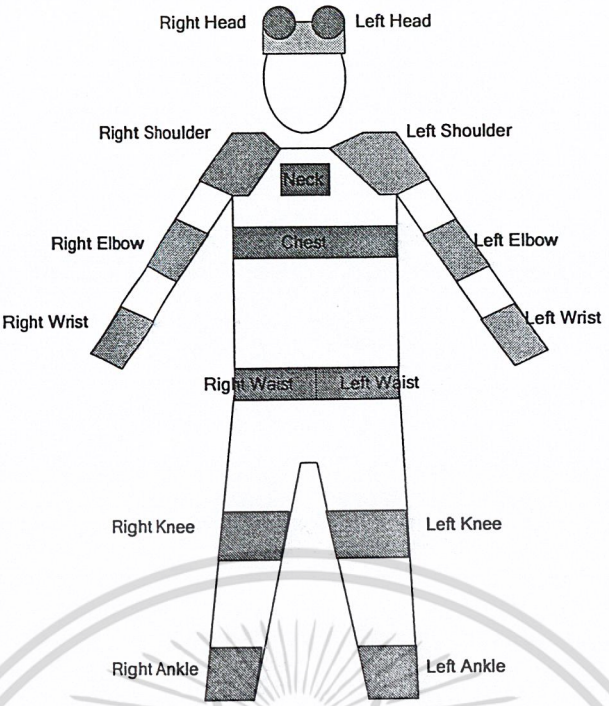
8.2.3 ผู้แสดง มาร์กเกอร์ และการจัดสภาพแวดล้อม

การเลือกผู้แสดงนั้นจะมีผลต่อการตั้งกล้อง เนื่องจากการตั้งกล้องในตำแหน่งและมุมต่างๆ จะได้บริเวณที่จำกัด การคัดเลือกผู้แสดงที่มีรูปร่างเหมาะสมจะทำให้สามารถเคลื่อนไหวในบริเวณที่จำกัดนั้นได้มากกว่าผู้ที่มีขนาดร่างกายใหญ่ โดยในการจับการเคลื่อนไหวของผู้แสดงนั้น ระบบจะหาตำแหน่งข้อต่อสำคัญเพื่อให้สามารถนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติได้ ในการจะหาตำแหน่งข้อต่อของผู้แสดงจากภาพวิดีโอที่บันทึกได้นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้สัญลักษณ์หรือมาร์กเกอร์ (Marker) เป็นจุดสังเกต เพื่อให้โปรแกรมสามารถประมวลผลหาตำแหน่งได้

ดังนั้นโครงงานนี้จึงใช้มาร์กเกอร์ที่ทำมาจากผ้าที่ยืดหยุ่น ลักษณะเป็นแถบสีกว้างประมาณ 2 นิ้ว พันติดกับชุดของผู้แสดงตรงบริเวณข้อต่อในแต่ละข้อ โดยจะใช้สีที่แตกต่างกันไปในแต่ละส่วน เพื่อช่วยแยกแยะมาร์กเกอร์ในกระบวนการประมวลผลภาพ เช่น ในกรณีที่มาร์กเกอร์มากกว่า 1 จุดเคลื่อนสวนกันหรืออยู่ใกล้กันมาก

สำหรับชุดที่ผู้แสดง (Actor) ต้องสวมใส่ จะเป็นชุดรัดรูปสีดำล้วน แขนยาว ขายาว เพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างสะดวก และเพื่อให้สามารถติดแถบมาร์กเกอร์ได้แนบชิดกับรูปร่างของผู้แสดง ซึ่งจะทำให้การคำนวณหาตำแหน่งคลาดเคลื่อนน้อยลง นอกจากนี้การปกปิดสีของผิวหนังจะช่วยลดการรบกวนของสีได้ โดยเฉพาะสีแดงส้มที่มีสีที่ได้จากภาพใกล้เคียงกับสีผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.8 ตำแหน่งและสีของมาร์กเกอร์ที่ติดกับชุดแสดง

จากรูปที่ 8.8 เป็นรูปแสดงตำแหน่งและสีที่ใช้ของมาร์กเกอร์ในบริเวณข้อต่อต่างๆ ทั้งสิ้น 16 จุด ดังนี้

1. หัวด้านซ้าย ใช้สีชมพู
2. หัวด้านขวา ใช้สีฟ้า
3. คอ ใช้สีชมพู
4. หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือด้านซ้าย ใช้สีส้มเหลือง
5. หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือด้านขวา ใช้สีเขียว
6. อก ใช้สีฟ้า
7. สะโพก เข่า ข้อเท้าด้านซ้าย ใช้สีชมพู
8. สะโพก เข่า ข้อเท้าด้านขวา ใช้สีฟ้า

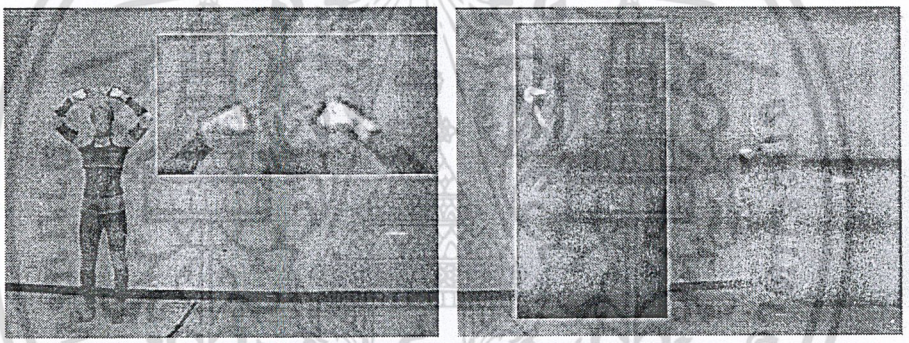
สำหรับสีที่เลือกใช้นั้นจะมีความสำคัญมากต่อการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ เนื่องจากในการหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์และการแยกแยะนั้น เราจะดูจากสีมาร์กเกอร์เป็นสำคัญ ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้สีที่ตรวจจับได้ง่ายและดีที่สุด โดยจากการทดลองจับสีที่ได้จากกล้องที่ใช้งานดังรูปที่ 8.9 นั้น พบว่ากล้องสามารถแยกสีได้ไม่มากนัก โดยสีที่ตรวจจับได้ดีที่สุดคือสีฟ้า ชมพู เขียว เหลือง ตามลำดับ สำหรับสีอื่นๆ ที่มืดเกินไปหรือสว่างเกินไปจะมีค่าความเป็นสี (Saturation) น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือมีค่าใกล้เคียงกับสีอื่นๆ มากเกินไปทำให้ไม่สามารถตรวจจับและแยกแยะได้ ดังนั้นจึงเหลือสีที่สามารถนำมาใช้ได้เพียง 4 สีดังกล่าว

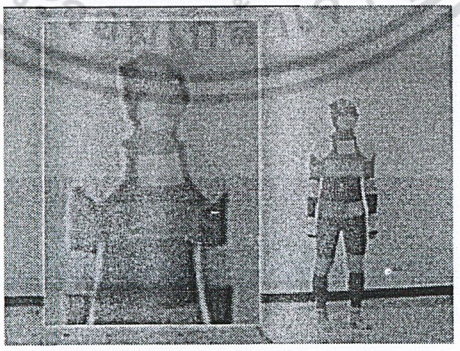
สำหรับตำแหน่งที่จะตรวจจับทั้งสิ้นจำนวน 16 จุดนั้น เป็น 16 จุดหลักที่เพียงพอต่อการตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ โดยทั้งนี้จะเน้นไปที่การเคลื่อนไหวแขน ขา และลำตัวก่อน ทำให้การตรวจจับการเคลื่อนไหวของหัว ข้อมือ และข้อเท้ายังไม่สามารถทำได้ดีนัก การติดมาร์กเกอร์นั้นจะติดไว้ตรงข้อต่อพอดี เพื่อเวลาตรวจจับจะได้หาตำแหน่งตรงกลางของแถบสีตรงกับตำแหน่งข้อต่อพอดี แต่อย่างไรก็ตามก็อาจมีความคลาดเคลื่อนได้จากการหันตัวหรือเคลื่อนไหวร่างกายแบบต่างๆ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของระบบ

นอกจากนี้สภาพแวดล้อมก็มีส่วนสำคัญต่อการตรวจจับ เพราะหากบันทึกภาพในที่ที่มีแสงมากเกินไป ก็อาจทำให้มาร์กเกอร์มีสภาพเป็นสีขาว หรือหากถ้ามืดเกินไปก็อาจจะออกเป็นสีดำดังตัวอย่างในรูปที่ 8.9 ดังนั้นจึงต้องจัดสภาพแสดงให้พอดี โดยจากการทดลองพบว่าการตรวจจับในห้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยไม่มีการรบกวนจากแสงอื่นๆ เช่น แสงอาทิตย์ มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากจะสามารถควบคุมได้ง่ายและให้สีที่ชัดเจนที่สุดดังรูปที่ 8.10 และฉากหลังหรือสิ่งใดๆ ที่จะปรากฏในภาพควรเป็นสีขาวหรือดำที่ไม่รบกวนต่อการตรวจจับด้วย



(ก) (ข)

รูปที่ 8.9 (ก) ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องในสภาพแวดล้อมที่สว่างเกินไป
(ข) ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องในสภาพแวดล้อมที่มืดเกินไป

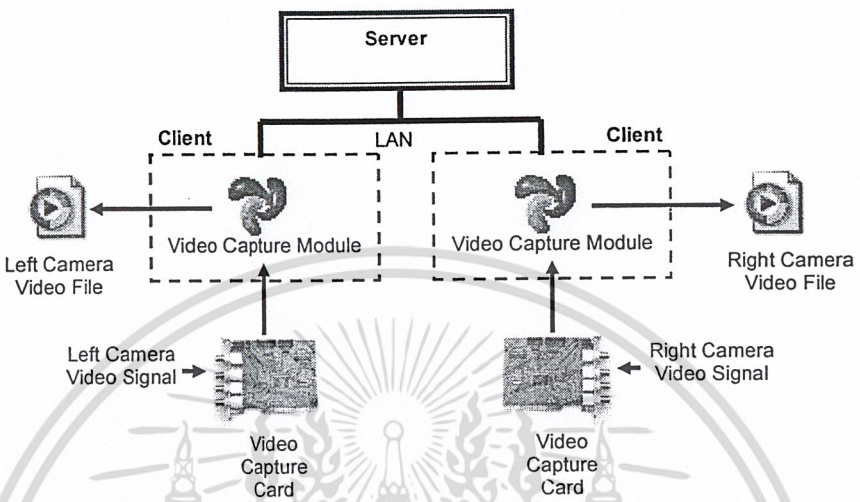


รูปที่ 8.10 ตัวอย่างภาพจากกล้องในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.4 การออกแบบโปรแกรม

การบันทึกภาพจากกล้องวิดีโอทั้ง 2 ตัวพร้อมๆ กันนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้การ์ดจับภาพ (Video Capture Card) 2 ชุด ซึ่งมีข้อจำกัดตรงที่คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง สามารถติดตั้งการ์ดได้เพียง 1 ชุด ดังนั้นจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ 2 เครื่องในการบันทึกภาพ ซึ่งทำให้ต้องออกแบบโปรแกรมให้ทำงานในลักษณะ Cluster ได้ ดังแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 8.11 โครงสร้างโปรแกรมบันทึกภาพการเคลื่อนไหว

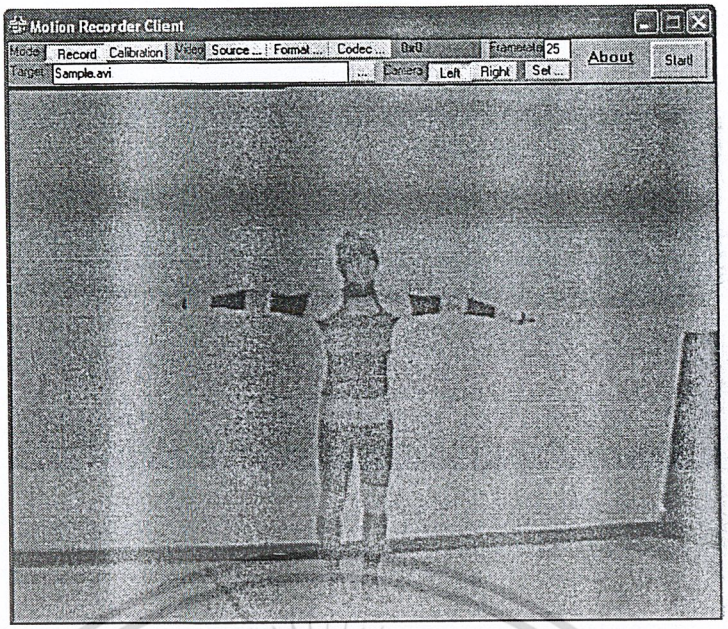
โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วน Server เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ควบคุมโปรแกรม Client โดยจะเป็นผู้ส่งคำสั่งให้โปรแกรมเริ่มหรือหยุดการบันทึกภาพพร้อมๆ กัน และสำหรับการปรับแต่งโปรแกรม Client บางอย่าง โดยอาศัยการติดต่อสื่อสารผ่านระบบ LAN
2. ส่วน Client เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่บันทึกภาพที่จับได้จากกล้องวิดีโอผ่านทางการ์ดจับภาพ แล้วบันทึกลงไฟล์บนเครื่องของ Client เอง โดยคอยรับคำสั่งจากโปรแกรม Server และนอกจากนี้ยังใช้สำหรับการจัดตำแหน่งกล้องได้ด้วย

สำหรับโปรแกรม Client นั้นจะแบ่งโหมดการทำงานเป็น 2 โหมด ได้แก่ โหมดบันทึกภาพ และโหมดการจัดตั้งกล้อง โดยในโหมดการบันทึกภาพเป็นการจับภาพจากอุปกรณ์จับภาพเพื่อบันทึกลงไฟล์ตามอัตราที่ระบุไว้ โดยผู้ใช้งานต้องเลือกชื่อไฟล์และอัตราภาพ (Framerate) ที่ต้องการ (หรือตั้งค่าผ่านโปรแกรม Server) จากนั้นให้สั่งการจาก Server เพื่อให้โปรแกรมเริ่มการบันทึกหรือหยุดการบันทึก

ในโหมดการจัดตั้งกล้องนั้นผู้ใช้จะต้องใส่ค่าที่จำเป็นสำหรับการคำนวณได้แก่ ตำแหน่งของกล้อง ระยะโฟกัส ขนาดฉากรับภาพในแนวตั้งและแนวนอน เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดสัญลักษณ์ที่จะปรากฏบนภาพ สำหรับการปรับกล้องให้ภาพตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.12 ภาพตัวอย่างแสดงโปรแกรมบันทึกภาพการเคลื่อนไหว

8.2.4.1 อัตราภาพและชนิดไฟล์ที่บันทึก

ความเร็วในการบันทึกนั้น หากสามารถบันทึกได้อัตราภาพ (Frame rate) สูงเท่าไร จะยิ่งได้ภาพการเคลื่อนไหวที่ละเอียดขึ้นเท่านั้น แต่ด้วยข้อจำกัดของกล้อง การ์ดจับภาพและระบบวิดีโอที่มีอัตราภาพสูงสุด 25 เฟรมต่อวินาที ทำให้บันทึกภาพได้สูงสุด 25 เฟรมต่อวินาทีเช่นกัน สำหรับไฟล์ฟอร์แมตที่ใช้บันทึกนั้น จะใช้ไฟล์ AVI ที่มีการเข้ารหัสแบบ DIVX เนื่องจากมีความสามารถในการบีบอัดโดยคงคุณภาพของภาพสูงและไฟล์มีขนาดเล็ก ทำให้ใช้แบนวิธ (Bandwidth) ในการบันทึกลงฮาร์ดดิสก์น้อยกว่าการบันทึกแบบไม่เข้ารหัสเลย ซึ่งจะกินแบนวิธสูง ทำให้การบันทึกอาจเกิดการกระตุกหรือเกิดลายบนภาพได้ ซึ่งจะมีผลทำให้การตรวจจับเป็นไปได้ด้วยความลำบาก อย่างไรก็ตามสามารถเลือกการเข้ารหัสในรูปแบบอื่นๆ ได้ โดยต้องเป็นรูปแบบที่เข้ากันได้กับ VideoOCX ต้องมีขนาดสีพิกเซล (Sampling Size) เท่ากับ 24 บิต

สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้อัตราภาพเท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที เนื่องจากเป็นอัตราสูงสุดที่กล้องถ่ายภาพสามารถให้สัญญาณออกมาได้ ซึ่งหากยิ่งใช้กล้องที่สามารถให้อัตราภาพยิ่งสูงเท่าใดก็จะยิ่งตรวจจับได้ละเอียดเท่านั้น เนื่องจากอัตราภาพมีความสัมพันธ์กับการตรวจจับโดยตรง เนื่องจากการตรวจจับจะทำเป็นเฟรมๆ หากอัตราภาพสูง จะทำให้การตรวจจับทำได้ละเอียดและผู้แสดงก็สามารถแสดงท่าทางหรือเคลื่อนไหวได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในทางกลับกันหากอัตราภาพต่ำจะตรวจจับไม่ละเอียดและผู้แสดงก็ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เร็วอีกด้วย อย่างไรก็ดีการใช้อัตราภาพที่มากก็มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการประมวลผลมาก เพราะมีเฟรมภาพต่อวินาทีมากขึ้น ประกอบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะทำให้การเคลื่อนไหวของจุดเกิดอาการสั่นได้ ซึ่งจะได้อธิบายวิธีการแก้ปัญหาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของขนาดภาพที่บันทึกนั้นเลือกบันทึกขนาด 320x240 พิกเซล เพราะเป็นขนาดที่ไม่ใหญ่นักที่สามารถนำมาประมวลผลได้ เพราะหากใช้ขนาดภาพที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้การบันทึกเกิดปัญหาเนื่องจากภาพที่ใหญ่ขึ้นจะกินแบนวิธมากขึ้น ซึ่งหากบันทึกโดยเข้ารหัสแบบ DIVX ที่อัตราภาพ 25 เฟรมต่อวินาที ก็จะไม่สามารถเข้ารหัสได้ทัน หรือหากจะไม่เข้ารหัสก็จะกินแบนวิธสูงมากในการบันทึกลงฮาร์ดดิสก์จนทำให้บันทึกไม่ทันหรือเกิดอาการภาพเป็นลายได้ เนื่องจากการล่าช้าของฮาร์ดดิสก์

8.2.4.2 การบันทึกภาพพร้อมกัน (Synchronization)

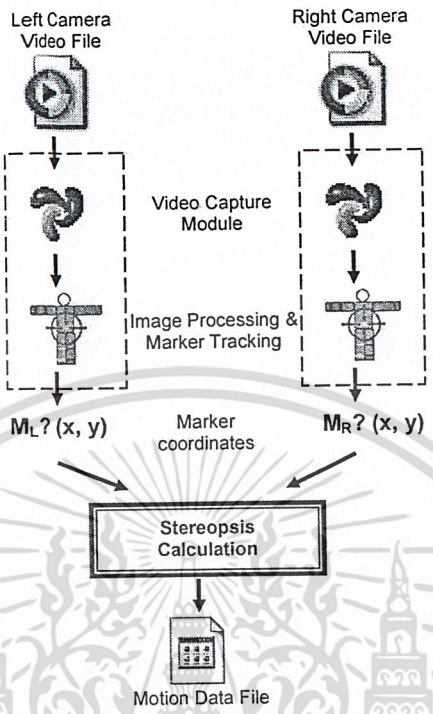
โปรแกรม Client ทั้งคู่จะถูกปรับให้บันทึกที่อัตราภาพ (Frame rate) คงที่ที่เท่ากัน ดังนั้นการจะทำให้จับภาพในแต่ละเฟรมให้พร้อมกัน จึงขึ้นอยู่กับว่าโปรแกรม Client ทั้ง 2 ตัวสามารถเริ่มบันทึกได้พร้อมกันหรือไม่ จึงออกแบบการสื่อสารจากโปรแกรม Server มายัง โปรแกรม Client ในแบบ Broadcast ซึ่งจะทำให้สัญญาณถึงเครื่อง Client ได้พร้อมกันมากกว่าแบบอื่น ซึ่งต้องลดเวลาคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดโดยต่อคอมพิวเตอร์ในระบบทั้งหมดบน Network Switch ตัวเดียวกัน และจากการวัดความคลาดเคลื่อนในการส่งด้วยโปรโตคอล UDP พบว่ามีค่าไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ซึ่งสำหรับการจับภาพที่ 25 เฟรมต่อวินาที หรือทุกๆ 40 มิลลิวินาทีนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนนี้จึงน้อยมากเกินกว่าจะทำให้ภาพมีความแตกต่างกัน จึงสามารถตัดทิ้งได้

จากการทดสอบพบว่า โปรแกรม Server สามารถสั่งการให้โปรแกรม Client เริ่มและจบได้พร้อมกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1 - 2 เฟรมภาพ ซึ่งจะมีผลต่อการนำไปคำนวณหาค่าตำแหน่งน้อยมาก อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อุปกรณ์เครือข่ายที่มีความเร็วสูง และไม่มีกราฟิกอื่นรบกวนจะทำให้การบันทึกทำได้พร้อมกันยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหว (Motion Analysis)

สามารถแสดงการออกแบบระบบได้ดังรูปที่ 4.13



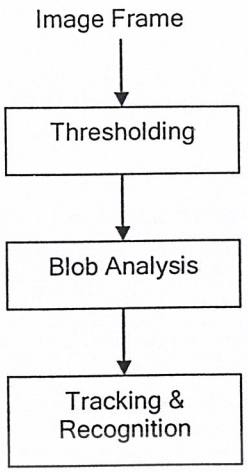
รูปที่ 8.13 แผนผังแสดงระบบการทำงานในขั้นตอนการวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 8.13 เราจะนำไฟล์วิดีโอที่บันทึกการเคลื่อนไหวทั้งสองไฟล์มาประมวลผลด้วยทฤษฎีประมวลผลภาพ (Image Processing Theories) เพื่อหาตำแหน่งของจุดข้อต่อทั้ง 16 จากเฟรมภาพทั้งสอง จากนั้นจะนำมาจับคู่เพื่อคำนวณตามทฤษฎี Stereopsis เพื่อให้ได้ตำแหน่งจริงออกมา แล้วนำไปบันทึกลงไฟล์ต่อไป ซึ่งจะมีรายละเอียดแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

8.3.1 การตรวจหาตำแหน่งมาร์กเกอร์จากภาพ

หลังจากจับภาพเฟรมวิดีโอมาแล้ว จะนำภาพมาทำ Threshold เพื่อแยกสีที่ต้องการออกมาก่อน จากนั้นใช้อัลกอริทึม Floodfill เพื่อหาตำแหน่งและขนาดแต่ละ Blob ก็จะได้ตำแหน่งมาร์กเกอร์สีนั้นๆ ออกมา โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 8.14

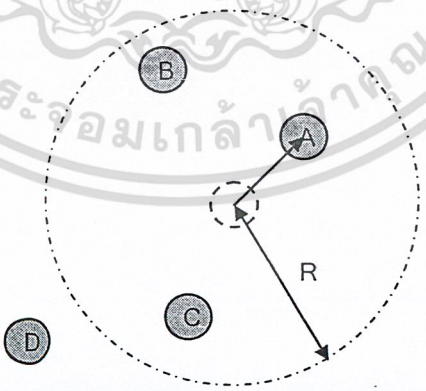
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.14 แผนผังแสดงการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์

จากรูปที่ 8.14 จะสามารถแบ่งขั้นตอนการประมวลผลได้ 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) การทำ Threshold โดยจะทำในช่วงสี HSV ทั้งหมด 4 ช่วง เนื่องจากมีมาร์กเกอร์ที่ใช้ทั้งหมด 4 สี คือ ฟ้า ชมพู เขียว เหลือง จะได้ภาพแบบสองสี Binary มาทั้งหมด 4 ภาพตามสีที่ทำ Threshold
2) จากนั้นนำภาพทั้งสี่ไปหาตำแหน่งของ Blob แต่ละจุด
3) เป็นกระบวนการเลือก Blob เฉพาะที่เราสนใจออกมา โดยใช้วิธีการติดตามมาร์กเกอร์แต่ละตัว (Tracking) โดยจะดูตำแหน่งของมาร์กเกอร์จากเฟรมก่อนหน้าว่าอยู่ตำแหน่งใด จากนั้นจะเลือกจุด Blob ที่มีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงที่กำหนด ที่อยู่ใกล้ตำแหน่งเดิมมากที่สุด แต่ต้องไม่เกินรัศมีที่กำหนดดังรูปที่ 8.15 ในที่นี้ในโปรแกรมผู้พัฒนาได้กำหนดค่ารัศมีการตรวจจับให้มีค่าเท่ากับ 40 พิกเซล

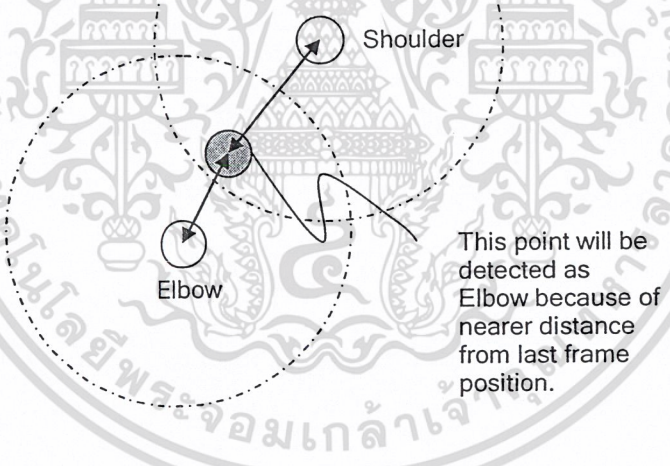


รูปที่ 8.15 แสดงการติดตามมาร์กเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8.15 เป็นการหาตำแหน่งของจุดหนึ่งโดยดูจากตำแหน่งเดิมจากเฟรมก่อนหน้า จากนั้นจะหาจุด Blob ที่ใกล้ที่สุด (โดยเลือกดูเฉพาะจุด Blob ที่มีขนาดจุดพิกเซลอยู่ในช่วงที่กำหนดเท่านั้น) ซึ่งก็คือจุด A สำหรับจุด B และ C ซึ่งอยู่ห่างออกไป จะไม่ถูกตรวจจับ และสำหรับจุด D ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขต R จะไม่นำมาคิดเช่นกัน

ดังนั้นการกำหนดรัศมี R จึงมีผลต่อการติดตามมาร์กเกอร์ การกำหนด R ให้น้อยจะช่วยทำให้ลดปัญหาการตรวจจับผิดพลาดได้ แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือจะไม่สามารถติดตามมาร์กเกอร์ที่เคลื่อนไหวเร็วมากได้ แต่ถ้าหากใช้ R กว้างเกินไปก็อาจจะทำให้ไปตรวจจับจุดอื่นๆ ที่ไม่ใช่จุดที่สมควรได้ ซึ่งถ้าหากเป็นจุดรบกวน (Noise Blob) จำเป็นที่จะต้องปรับช่วงสีเพื่อลดจุดรบกวนออกไปในขั้นการทำ Threshold แต่หากเป็นจุดอื่นๆ ที่อยู่ใกล้กันและมีสีเดียวกัน เช่น ไหล่กับข้อศอก หากจุดที่ไหล่หายไป และเมื่อทำการตรวจจับจุดที่ไหล่อาจจะไปจับเอาจุดที่ข้อศอกแทน ซึ่งจะแก้ไขโดยการเปรียบเทียบระยะ โดยเมื่อไปหาตำแหน่งของข้อศอกอีกครั้งและพบว่าจุดเดียวกันที่เคยตรวจจับเป็นไหล่นั้นไปแล้วเป็นจุดของข้อศอกด้วย จะทำการเปรียบเทียบระยะทางจากจุดเดิมมาจุดใหม่ หากจุดใดมีระยะทางน้อยกว่าแสดงว่าจุด Blob นั้นน่าจะเป็นจุดของมาร์กเกอร์นั้นมากกว่า และทำให้จุดเดิมนั้นเป็นจุดที่ไม่สามารถตรวจจับได้แทน ซึ่งต้องมีการแก้ไขในหัวข้อต่อๆ ไป



รูปที่ 8.16 รูปแสดงการตรวจจับซ้ำซ้อนของมาร์กเกอร์

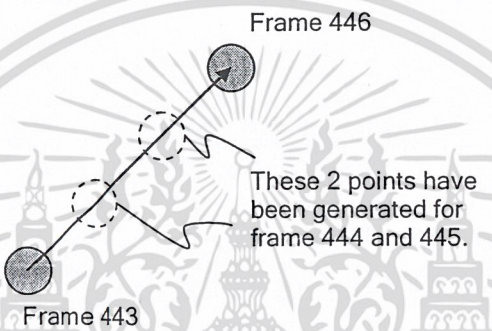
8.3.2 การแก้ไขตำแหน่งเมื่อตรวจไม่พบมาร์กเกอร์

แม้ว่าการติดตามตำแหน่งมาร์กเกอร์จะช่วยทำให้สามารถหาตำแหน่งและแยกแยะมาร์กเกอร์แต่ละตัวได้ แต่ก็เป็นไปได้ที่จะตรวจไม่พบมาร์กเกอร์ ซึ่งจะทำให้การตรวจจับไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ เพราะการตรวจจับจำเป็นต้องอาศัยตำแหน่งบนภาพเดิมของมาร์กเกอร์ โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดการบดบังของมาร์กเกอร์ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของระบบ และจะต้องให้ผู้ใช้งานทำการกำหนดตำแหน่งของจุดนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ดีการให้ผู้ใช้งานกำหนดตำแหน่งทุกครั้งที่ไม่สามารถตรวจจับได้นั้น อาจทำให้การตรวจจับใช้เวลามากและไม่สะดวก ดังนั้นจึงได้แก้ไขปัญหาขึ้นมาโดยใช้วิธีการละเว้น

การละเว้นนี้คือการปล่อยให้การตรวจจับดำเนินต่อ แม้ว่าจุดมาร์กเกอร์นั้นไม่สามารถตรวจจับได้ และไปพยายามตรวจจับในเฟรมต่อๆ ไป โดยใช้ตำแหน่งสุดท้ายที่ยังตรวจจับได้เป็นจุดอ้างอิง เมื่อพบมาร์กเกอร์นั้นในเฟรมถัดๆ ไป ก็จะ ทำการสร้างค่าโดยการเฉลี่ยระยะทางที่เปลี่ยนไปกับจำนวนเฟรมที่ละเว้นไป แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้สามารถช่วยได้ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจจับได้น้อยเฟรมเท่านั้น เพราะหากละเว้นเป็นระยะเวลานานหรือหลายเฟรมเกินไป ตำแหน่งอาจเปลี่ยนไปมากจนไม่สามารถตรวจจับได้ หรือตรวจจับจุดอื่นที่ผิดไป ถ้ามีการเคลื่อนไหวระหว่างเฟรมที่ไม่สามารถตรวจจับได้เพียง 2-3 เฟรม การเคลื่อนไหวใน 2-3 เฟรมนั้น มักมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นการสร้างจุดที่ขาดหายไปด้วยสมการเส้นตรงจึงให้ผลที่ใกล้เคียงและชดเชยได้



รูปที่ 8.17 แสดงการแก้ไขจุดมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับไม่พบ

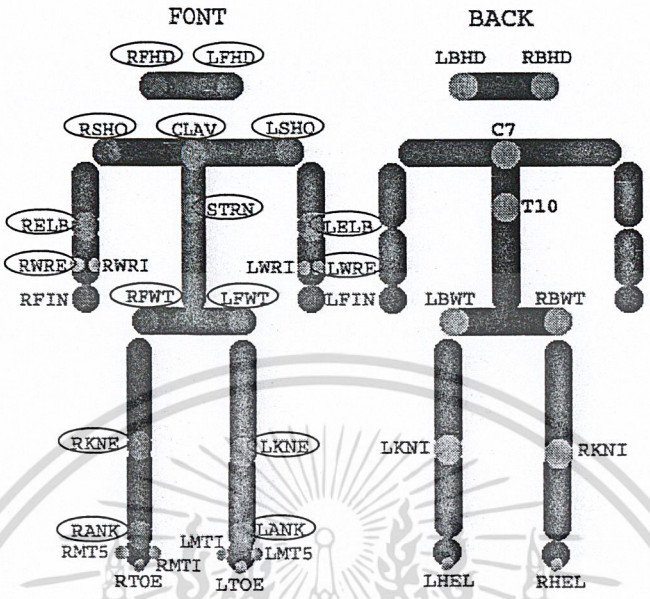
อย่างไรก็ตามหากใช้วิธีนี้แล้ว ยังไม่สามารถกลับมาตรวจจับจุดนั้นได้ ระบบจะแจ้งให้ผู้ใช้เป็นผู้แก้ไขในท้ายที่สุด โดยระบบจะกำหนดให้ละเว้นได้สูงสุดไม่เกิน 2 เฟรม ซึ่งจากการทดสอบ วิธีนี้สามารถแก้ไขการตรวจจับไม่พบที่เกิดจากสัญญาณรบกวนได้ เพราะมักทำให้ไม่สามารถตรวจจับได้ประมาณเพียง 1 ถึง 2 เฟรมเท่านั้น แต่สำหรับการบดบังหรือการเคลื่อนสวนกันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน ซึ่งมักเกิดขึ้นเป็นเวลาหลายเฟรมจะยังต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้แก้ไขต่อไป ซึ่งสำหรับการเคลื่อนสวนกันของมาร์กเกอร์สีเดียวกันนั้น จะสามารถลดการเกิดได้โดยการใช้สีที่แตกต่างกันในบริเวณที่จุดข้อต่อสวนกันบ่อย ดังที่ได้ออกแบบชุดและมาร์กเกอร์และอธิบายไปข้างต้นแล้ว

8.3.3 การหาและสร้างตำแหน่งข้อต่อ

หลังจากได้ตำแหน่งบนภาพและแยกแยะได้แล้วว่าจุดนั้นๆ เป็นเป็นข้อต่อจุดใดแล้ว จะนำตำแหน่งจากภาพทั้งสองมาคำนวณโดยใช้ Stereopsis จะได้ตำแหน่งจริงของข้อต่อนั้นมา แต่จำนวนของมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับที่มีเพียง 16 จุดเท่านั้น ซึ่งจะน้อยกว่าจำนวนข้อต่อที่จะบันทึกลงไฟล์ซึ่งมีทั้งสิ้น 36 จุด ซึ่งจุดที่ไม่ได้ตรวจจับโดยมาร์กเกอร์จำเป็นที่จะต้องใช้สมการคำนวณจากจุดที่ทราบขึ้นให้ครบตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหมาะสมของโครงสร้างไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบ CSM โดยจุด 36 จุด มีรายละเอียดในการสร้างและข้อจำกัดดังต่อไปนี้



รูปที่ 8.18 ภาพแสดงตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์

จุดมาร์กเกอร์ 16 จุดหลักที่ได้จากการตรวจจับมาร์กเกอร์ตามตำแหน่งจริง ได้แก่

1) RFHD (Right Front Head) เป็นจุดบริเวณศีรษะข้างหน้าด้านบนขวา
2) LFHD (Left Front Head) เป็นจุดบริเวณศีรษะข้างหน้าด้านบนซ้าย
3) CLAV (Top Chest) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางหน้าอกด้านบนสุด
4) STRN (Center Chest) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางหน้าอกกึ่งกลางลำตัว (บริเวณลิ้นปี่)
5) RSHO (Right Shoulder) เป็นจุดบริเวณหัวไหล่ด้านขวา
6) RELB (Right Outer Elbow) เป็นจุดบริเวณข้อศอกด้านขวา
7) RWRE (Right Wrist Stick End) เป็นจุดบริเวณข้อมือขวาด้านนอกลำตัว
8) LSHO (Left Shoulder) เป็นจุดบริเวณหัวไหล่ด้านซ้าย
9) LELB (Left Outer Elbow) เป็นจุดบริเวณข้อศอกด้านซ้าย
10) LWRE (Left Wrist Stick End) เป็นจุดบริเวณข้อมือซ้ายด้านนอกลำตัว
11) RFWT (Right Front Waist) เป็นจุดบริเวณบริเวณสะโพกข้างหน้าด้านขวา
12) LFWT (Left Front Waist) เป็นจุดบริเวณบริเวณสะโพกข้างหน้าด้านซ้าย
13) RKNE (Right Outer Knee) เป็นจุดบริเวณหัวเข่าข้างขวาด้านหน้า
14) RANK (Right Outer Ankle) เป็นจุดบริเวณข้อเท้าด้านขวา
15) LKNE (Left Outer Knee) เป็นจุดบริเวณหัวเข่าข้างซ้ายด้านหน้า
16) LANK (Left Outer Ankle) เป็นจุดบริเวณข้อเท้าด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

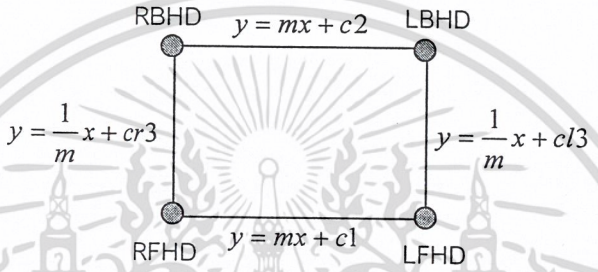
ดังที่แสดงในรูปที่ 8.18 รูปซ้ายมือ ซึ่งมีวงกลมล้อมรอบชื่อข้อต่อทั้ง 16 จุด

สำหรับจุดมาร์กเกอร์อีก 20 จุดที่ใช้สมการช่วยสร้างขึ้น ได้แก่

17) RBHD (Right Back Head) เป็นจุดบริเวณศีรษะข้างหน้าด้านบนขวา

18) LBHD (Left Back Head) เป็นจุดบริเวณศีรษะข้างหน้าด้านบนซ้าย

สำหรับจุด RBHD และจุด LBHD นั้นจะสร้างขึ้นมาจากความสัมพันธ์ของเส้นตรงที่ขนานกัน โดยสร้างให้เป็นจุดที่เกิดบริเวณด้านหลังของจุด RFHD และ LFHD ตามลำดับ สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการได้ดังรูป



*รูปที่ 8.19 การคำนวณหาค่าจุด **RBHD** และ **LBHD***

ซึ่งค่าตัวแปรของสมการความสัมพันธ์ระหว่างจุด RFHD และจุด LFHD ในระนาบ xy เป็นดังนี้

$$m = \frac{PYLF - PYRF}{PXLF - PXRF}$$

$$c1 = PYLF - (m \times PXRF)$$

$c2 = d\sqrt{a^2 + b^2} + c1$ โดยที่กำหนดให้ a = m b = -1 และ d = 100

$$cr3 = PYRF + \left(\frac{1}{m} \times PXRF\right)$$

$$cl3 = PYLF + \left(\frac{1}{m} \times PXLF\right)$$

$$PXRB = \frac{m}{1+m^2}(cr3 - c2)$$

$$PYRB = (m \times PXRB) + c2$$

$$PXLB = \frac{m}{1+m^2}(cl3 - c2)$$

$$PYLB = (m \times PXLB) + c2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19) C7 (Top of Spine) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางกระดูกสันหลังด้านบน ซึ่งจะกำหนดค่าของตำแหน่งให้อยู่บริเวณด้านหลังของจุด CLAV เป็นระยะ 7.5 เซนติเมตร ในระนาบ xy ที่ความสูง z เท่ากัน

20) T10 (Middle of Back) เป็นจุดบริเวณบริเวณกึ่งกลางกระดูกสันหลังกลางลำตัว ซึ่งจะกำหนดค่าของตำแหน่งให้อยู่บริเวณด้านหลังของจุด STRN เป็นระยะ 12.5 เซนติเมตร ในระนาบ xy ที่ความสูง z เท่ากัน

21) RWRI (Right Wrist Stick Base) เป็นจุดบริเวณข้อมือขวาด้านติดกับลำตัว ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าของตำแหน่งเป็นค่าเดียวกับจุด RWRE จุด RWRI นี้กำหนดขึ้นเพื่อลดการหมุนของข้อมือของหุ่น Biped เมื่อเรานำไฟล์ไปใช้งาน

22) RFIN (Right Hand) เป็นจุดบริเวณมือขวา ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าของตำแหน่งเป็นค่าเดียวกับจุด RWRE

23) LWRI (Left Wrist Stick Base) เป็นจุดบริเวณข้อมือซ้ายด้านติดกับลำตัว ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าของตำแหน่งเป็นค่าเดียวกับจุด LWRE จุด LWRI นี้กำหนดขึ้นเพื่อลดการหมุนของข้อมือของหุ่น Biped เมื่อเรานำไฟล์ไปใช้งาน

24) LFIN (Left Hand) เป็นจุดบริเวณมือซ้าย ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าของตำแหน่งเป็นค่าเดียวกับจุด LWRE

25) RBWT (Right Back Waist) เป็นจุดบริเวณสะโพกข้างหลังด้านขวา ค่าตำแหน่งของจุดจะได้มาจากสมการความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกับการหาค่าตำแหน่งศีรษะด้านหลังข้างขวา

26) LBWT (Left Back Waist) เป็นจุดบริเวณสะโพกข้างหลังด้านซ้าย ค่าตำแหน่งของจุดจะได้มาจากสมการความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกับการหาค่าตำแหน่งศีรษะด้านหลังข้างซ้าย

27) RKNI (Right Inner Knee) เป็นจุดบริเวณหัวเข่าข้างขวาด้านหลัง ซึ่งจะกำหนดค่าของตำแหน่งให้อยู่บริเวณด้านหลังของจุด RKNE เป็นระยะ 4 เซนติเมตร ในระนาบ xy ที่ความสูง z เท่ากัน เพื่อให้จุดที่ได้อยู่ด้านหลังจุด RKNE สำหรับจุด RKNI นี้กำหนดขึ้นเพื่อลดการหมุนของขาของหุ่น Biped เมื่อเรานำไฟล์ไปใช้งาน

28) LKNI (Left Inner Knee) เป็นจุดบริเวณหัวเข่าข้างซ้ายด้านหลัง ซึ่งจะกำหนดค่าของตำแหน่งให้อยู่บริเวณด้านหลังของจุด LKNE เป็นระยะ 4 เซนติเมตร ในระนาบ xy ที่ความสูง z เท่ากัน เพื่อให้จุดที่ได้อยู่ด้านหลังจุด LKNE สำหรับจุด LKNI นี้กำหนดขึ้นเพื่อลดการหมุนของขาของหุ่น Biped เมื่อเรานำไฟล์ไปใช้งาน

29) RHEL (Right Heel) เป็นจุดบริเวณส้นเท้าด้านขวา ซึ่งค่าตำแหน่งของจุดจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับจุด RANK แต่มีค่า z น้อยกว่าเป็นระยะ 4 เซนติเมตร เพื่อให้ได้จุดอยู่ด้านล่างของจุด RANK

30) RTOE (Right Toe) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางปลายเท้าด้านหน้า ซึ่งค่าตำแหน่งของจุดจะกำหนดให้มีค่าอยู่ในระนาบเดียวกับจุด RHEL แต่มีค่า y น้อยกว่าเป็นระยะ 20 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ด้านหน้าจุด RHEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31) RMT5 (Right Outer Metatarsal) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางเท้าด้านนอกลำตัว โดยที่ค่าตำแหน่งของจุดได้มาจากการหาค่ากึ่งกลางระหว่างจุด RTOE และจุด RHEL และลบค่า x ออก 2 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ทางด้านขวาของจุด RMTI และ RTOE เสมอ

32) RMTI (Right Inner Metatarsal) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางเท้าด้านในติดกับลำตัว โดยที่ค่าตำแหน่งของจุดได้มาจากการหาค่ากึ่งกลางระหว่างจุด RTOE และจุด RHEL และบวกค่า x เพิ่มเข้าไป 2 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ทางด้านซ้ายของจุด RMT5 และ RTOE เสมอ

33) LHEL (Left Heel) เป็นจุดบริเวณส้นเท้าด้านซ้าย ซึ่งค่าของตำแหน่งจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับจุด LANK แต่มีค่า z น้อยกว่าอยู่ 4 เซนติเมตร เพื่อให้ได้จุดอยู่ด้านล่างของจุด LANK

34) LTOE (Left Toe) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางปลายเท้าด้านหน้า ซึ่งค่าตำแหน่งของจุดจะกำหนดให้มีค่าอยู่ในระนาบเดียวกับจุด LHEL แต่มีค่า y น้อยกว่าเป็นระยะ 20 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ด้านหน้าจุด LHEL

35) LMT5 (Left Outer Metatarsal) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางเท้าด้านนอกลำตัว โดยที่ค่าตำแหน่งของจุดได้มาจากการหาค่ากึ่งกลางระหว่างจุด LTOE และจุด LHEL และบวกค่า x เพิ่มเข้าไป 2 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ทางด้านซ้ายของจุด LMTI และ LTOE เสมอ

36) LMTI (Left Inner Metatarsal) เป็นจุดบริเวณกึ่งกลางเท้าด้านในติดกับลำตัว โดยที่ค่าตำแหน่งของจุดได้มาจากการหาค่ากึ่งกลางระหว่างจุด LTOE และจุด LHEL และลบค่า x ออก 2 เซนติเมตร เพื่อให้จุดอยู่ทางด้านขวาของจุด LMT5 และ LTOE เสมอ

8.3.4 การปรับปรุงตำแหน่ง

เนื่องจากในกระบวนการตรวจจับด้วยการประมวลผลภาพจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจจับอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นจำนวนไม่มาก เพียงไม่กี่พิกเซล แต่ค่าที่เปลี่ยนไปเพียง 1 พิกเซลนี้ก็จะทำให้เวลาไปคำนวณเพื่อหาตำแหน่งจริงในภายหลัง มีค่าที่เปลี่ยนไป ดังนั้นแม้ว่าจุดที่ตรวจจับจะอยู่นิ่ง แต่เมื่อตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งบนภาพก็จะไม่นิ่ง เพราะความคลาดเคลื่อน ซึ่งเมื่อเวลาไปหาตำแหน่งจริงต่อไปจะทำให้จุดนั้นเกิดอาการสั่นอย่างสังเกตได้ ซึ่งจะแก้ปัญหาโดยการเฉลี่ยค่าตำแหน่งในเฟรมต่างๆ จำนวนหนึ่ง เพื่อทำให้จุดค่อนข้างคงที่และเคลื่อนไหวอย่างราบรื่นขึ้น โดยมีอัลกอริธึมดังต่อไปนี้

```
If (Distance(NewPoint, CurrentPoint) < R) then
        CurrentPoint = Average(NewPoint, OldPoint(1), …, OldPoint(n))
Else
        CurrentPoint = NewPoint
```

โดยอัลกอริธึมนี้จะทำการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งจุดใหม่กับตำแหน่งปัจจุบัน ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่า R แสดงว่าจุดนี้มีการเคลื่อนที่ไปอย่างมาก ทำให้การแก้ไขปัญหาการสั่นไม่จำเป็น แต่ถ้าระยะทางน้อยกว่า R แสดงว่าการเคลื่อนไหวเป็นระยะทางน้อยหรืออาจเกิดการสั่น จะนำเอาตำแหน่งจุดใหม่และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

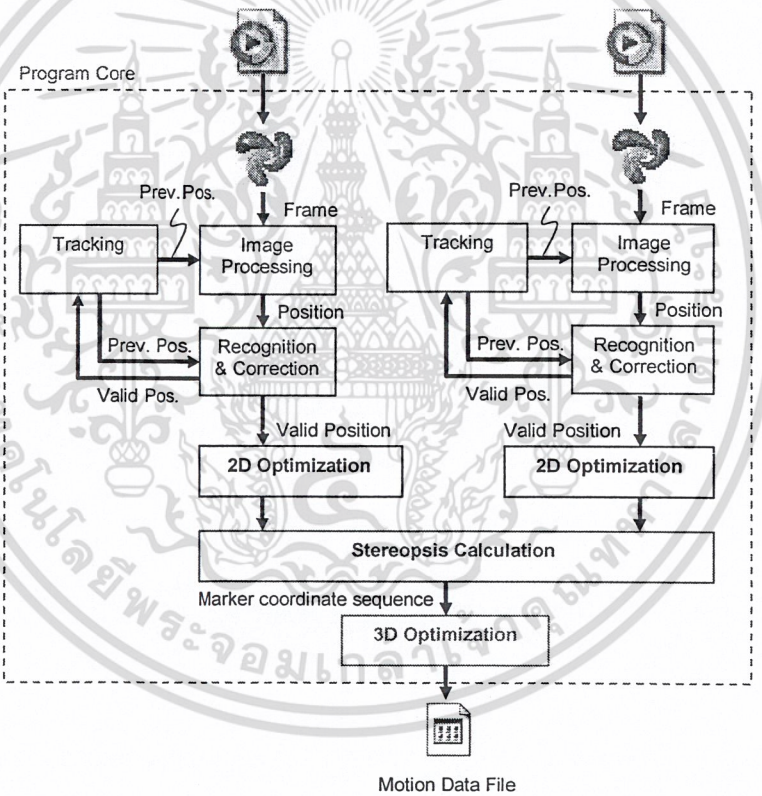
ตำแหน่งในเฟรมก่อนหน้ามาเฉลี่ย เพื่อลดการสั่นลงในกรณีที่จุดเคลื่อนไหวน้อย ในที่นี้ผู้พัฒนาได้กำหนดค่า R ไว้เท่ากับ 40 พิกเซล

อัลกอริธึมนี้จะถูกใช้กับตำแหน่งบนภาพ ซึ่งเป็นตำแหน่งในระนาบ 2 มิติ และตำแหน่งจริง ซึ่งเป็นตำแหน่งใน 3 มิติด้วย เพราะตำแหน่งใน 2 มิติเป็นตำแหน่งแยกกันจากภาพจากกล้องทั้งสองตัว ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งจริงก็อาจจะเกิดการสั่นได้ จึงต้องนำมาใช้กับตำแหน่งจริงด้วย

นอกจากนี้การสั่นที่เกิดขึ้นสามารถลดได้ด้วยการลดอัตราภาพลง เพราะหากเป็นการเคลื่อนไหวที่ไม่รวดเร็วมาก ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลตำแหน่งของจุดข้อต่อในทุกๆ เฟรม เพื่อให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น และจะช่วยลดการสั่นที่เกิดขึ้นได้ด้วย โดยการลดอัตราภาพลงทำได้โดยการตัดเฟรมบางเฟรมออกไป เช่น เฟรมเว้นเฟรมจะลดอัตราภาพลงครึ่งหนึ่ง

8.3.5 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้



รูปที่ 8.20 แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.5.1 ขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์บนภาพ

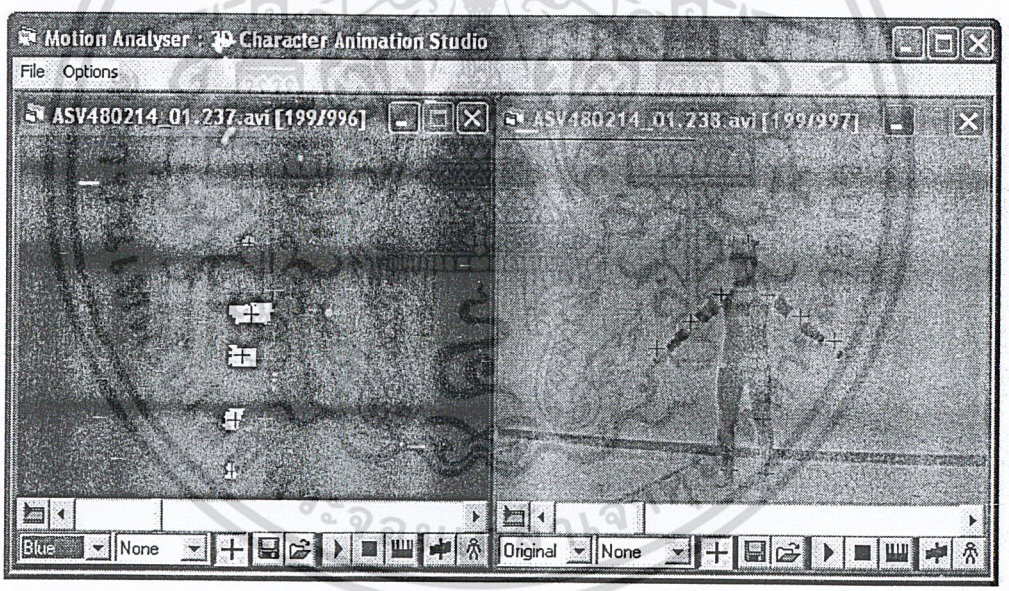
ขั้นตอนนี้เป็นการนำไฟล์วิดีโอทั้งสองไฟล์เข้ามาประมวลผลทีละเฟรม เพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์แต่ละจุดทั้ง 16 จุด ในทุกๆ เฟรม โดยใช้การประมวลผลภาพดังรายละเอียดที่กล่าวข้างต้น ผู้ใช้สามารถแก้ไขตำแหน่งจุดที่ตรวจจับ บันทึก นำเข้าได้ในขั้นนี้

ในส่วนนี้ผู้ใช้จะสามารถเปิดไฟล์วิดีโอขึ้นมาเพื่อประมวลผล ซึ่งอาจเลือกตรวจจับเองหรือให้โปรแกรมตรวจจับให้โดยอัตโนมัติก็ได้ ซึ่งในการตรวจจับแบบอัตโนมัตินั้น หากมีจุดใดที่ไม่สามารถตรวจจับได้ (หลังจากละเว้นแล้ว) ก็จะหยุดชั่วคราวให้ผู้ใช้แก้ไขแล้วประมวลผลต่อจนเสร็จ จากนั้นผู้ใช้สามารถสั่งให้โปรแกรมตรวจสอบและแก้ไขจุดใดที่ยังไม่ได้ตรวจจับในบางเฟรมได้ และสามารถบนทึกหรือนำเข้าข้อมูลตำแหน่งที่ตรวจจับได้ลงไฟล์ เพื่อสามารถนำมาใช้แก้ไขภายหลังได้ด้วย

8.3.5.2 ขั้นตอนการคำนวณหาตำแหน่งจริงและบันทึกลงไฟล์ CSM

เป็นขั้นตอนในการส่งออก (Export) ตำแหน่งที่ตรวจจับได้บนภาพจากไฟล์วิดีโอ 2 ไฟล์ ไปเป็นลำดับตำแหน่งจริงของข้อต่อแต่ละจุดในรูปของไฟล์ CSM ตามรูปแบบที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งในขั้นนี้รวมถึงการปรับปรุงตำแหน่งซึ่งเป็นการแก้ไขอันเนื่องมากจากการสั่นของจุดและการลดอัตราภาพลงด้วย

ผู้ใช้สามารถเลือกนำออกแบบไฟล์ CSM โดยสามารถเลือกได้ว่าจะทำการปรับปรุงค่าตำแหน่งใน 2 มิติและ 3 มิติหรือไม่ได้ รวมถึงการตั้งค่าการปรับชดเชย และการลดอัตราภาพด้วย



รูปที่ 8.21 ภาพตัวอย่างแสดงโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

นอกจากนี้เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ ในการตรวจจับตำแหน่งในเฟรมแรกก่อนการประมวลผลหาตำแหน่งในเฟรมถัดๆ ไป ได้ออกแบบโปรแกรมให้สามารถตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ได้โดยไม่ต้องใช้ตำแหน่งก่อนหน้า โดยการให้ผู้ใช้ยืนอยู่ในท่ามาตรฐานคือยืนตัวตรงแขนชิดลำตัว ณ ตำแหน่งเริ่มต้นคือจุด (0, 0) โปรแกรมจะใช้ค่าตำแหน่งที่ได้ตั้งไว้มาใช้สำหรับการหาตำแหน่งบนเฟรมภาพแทน

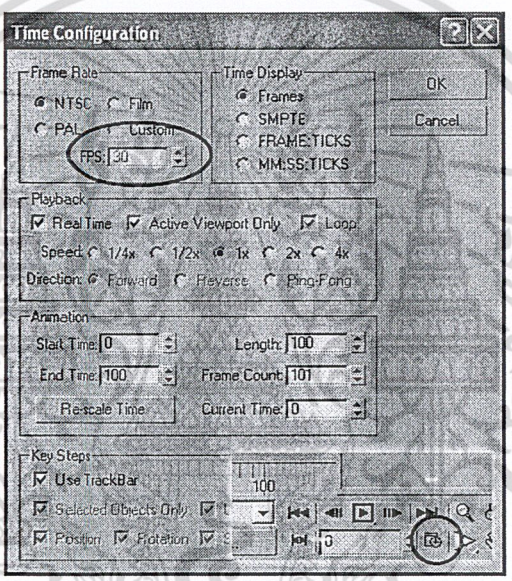
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 สร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร (Animation Production)

หลังจากได้ไฟล์ในรูปของ CSM แล้ว เราสามารถนำไฟล์นี้ไปใส่ให้กับตัวละคร 3 มิติในโปรแกรม 3ds Studio Max ได้ ดังวิธีที่ได้อธิบายในบทที่ 7 ซึ่งในการนำเข้านั้นเรายังสามารถแปลงอัตราภาพ (Framerate) และยังสามารถปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งของการเคลื่อนไหวได้ โดยใช้ความสามารถที่มากับโปรแกรม 3ds Studio Max ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.4.1 การเปลี่ยนอัตราภาพ

เป็นการตัดลดเฟรมบางเฟรมลงไป เพื่อทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น เนื่องจากจำนวน Key Frame ลดลง ซึ่งทำได้โดยเข้าไปที่ Time Configuration ก่อนการนำเข้าไฟล์ CSM จากนั้นปรับค่า Framerate ให้น้อยกว่าค่าของไฟล์ CSM จากนั้นให้นำเข้าไฟล์ CSM ตามปกติ เมื่อทำเสร็จแล้วให้เข้ามาปรับ Framerate ใน Time Configuration กลับเป็นเหมือนเดิม เพื่อทำให้การแสดงผลเป็น 25 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 8.22 หน้าต่างการปรับลดอัตราภาพในโปรแกรม 3ds Studio Max

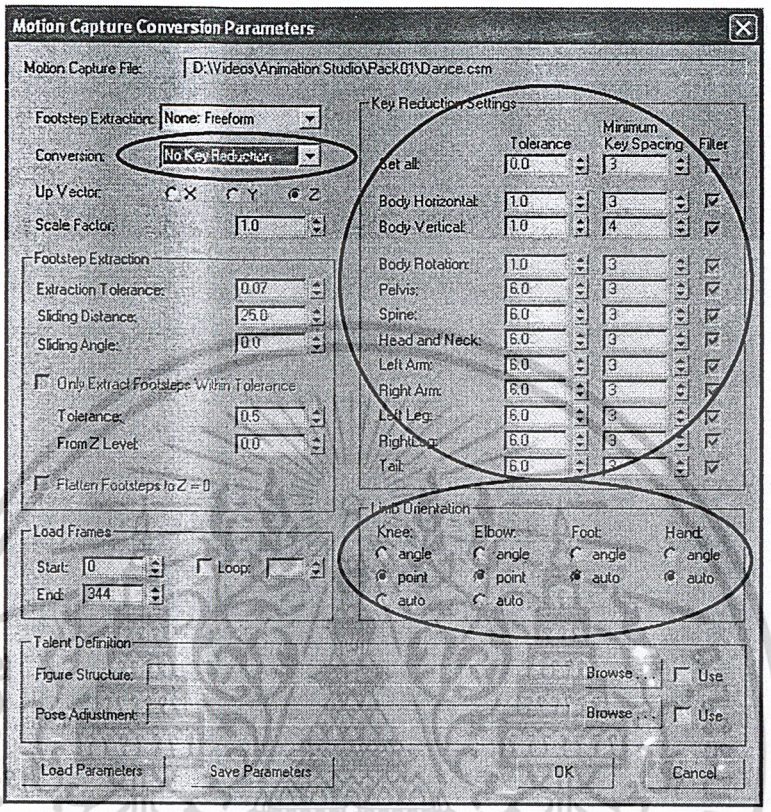
8.4.2 Keyframe Reduction และ Limb Orientation

ในการนำเข้าไฟล์ CSM จะมีค่าต่างๆ ให้กำหนดได้หลายแบบ ซึ่งจะทำให้แอนิเมชั่นที่ออกมาแตกต่างกันไปบ้าง เราสามารถใช้การตั้งค่านี้ในการปรับปรุงการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้นได้ โดยมีส่วนที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วนคือ

1. Key Frame Reduction เป็นการปรับลด Keyframe ที่ไม่จำเป็นลง จะช่วยทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น ซึ่งจะมีค่าให้ใส่ในตารางด้านขวาของหน้าต่าง แต่ก็จะทำให้การเคลื่อนไหวขาดความสมจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

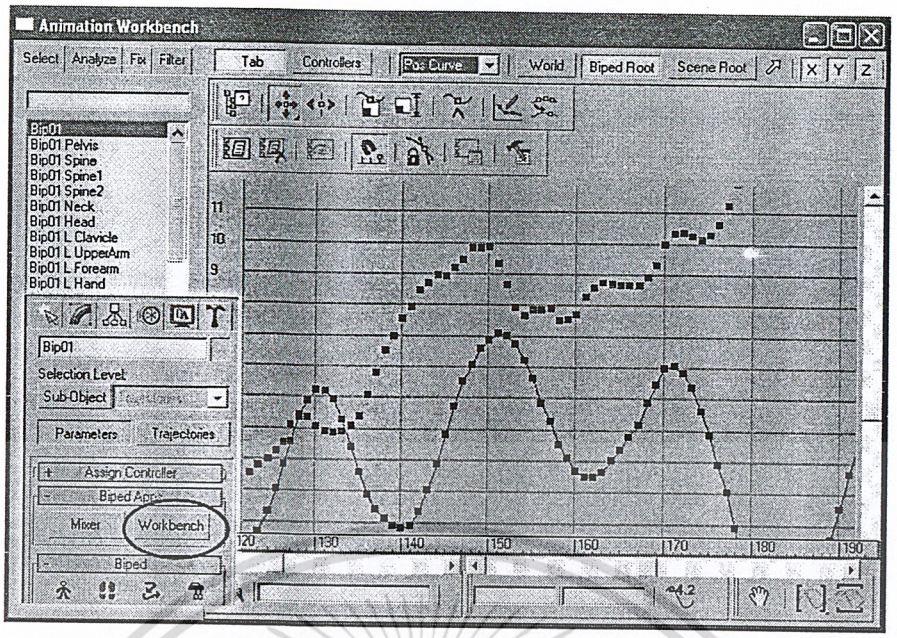
2. Limb Orientation เป็นการปรับมุมของโครงกระดูก ซึ่งจะมีผลแตกต่างกันไป แต่ในที่นี้จะใช้ค่า Point สำหรับ Knee กับ Elbow และใช้ค่า Auto กับ Foot และ Head ซึ่งจะได้ผลออกมาที่ดีที่สุด



รูปที่ 8.23 หน้าต่างการนำเข้าไฟล์ CSM

3. Animation Workbench หลังจากนำเข้าไฟล์ CSM แก่โครงกระดูกแล้ว เราสามารถแก้ไขหรือเรียกดูลักษณะการเคลื่อนไหวได้ โดยใช้ Animation Workbench ซึ่งจะแสดงการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ โดยใช้กราฟ ซึ่งเราสามารถแก้ไขและปรับปรุงได้ในหน้าต่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.24 หน้าต่างของ Animation Workbench

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
ผลการทดสอบระบบ

ในบทนี้จะเป็นนำเสนอผลการทดสอบระบบในการตรวจจับมาร์กเกอร์จากภาพวิดีโอไปจนถึงการนำไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหว CSM มาสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร พร้อมสรุปผลในแต่ละหัวข้อ โดยการทดสอบในส่วนนี้ทั้งหมด ได้ทำการบันทึกการเคลื่อนไหวในสภาพแวดล้อมภายในห้องโดยใช้แสงไฟจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก และกระทำการบันทึกในเวลากลางคืน โดยใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. กล้องถ่ายภาพวิดีโอชนิดซีซีดี (CCD) 2 ตัว ยี่ห้อ LYD รุ่น 805C ผลิตในประเทศจีน เป็นกล้องแบบ Day-Night คือถ่ายภาพได้ทั้งกลางวันและกลางคืนโดยใช้แสงอินฟราเรดจากหลอด LED ที่ติดตั้งอยู่รอบๆ ตัวเลนส์ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

รายการ	รายละเอียด
Image Device	1/4 inch Sharp CCD
Image Sensor Size	3.2 x 2.4 mm.
Focal Length	5 mm. / F2.0
Picture Element	PAL: 512x582, NTSC: 512x492
Horizontal Definition	380 lines
Scan Frequency	50 Hz (PAL) / 60 Hz (NTSC)
Lens Type	Day / Night (Infrared)
Infrared Effective Range	10 m. (CDS Auto Control)
Function	AWB, AGC, AES
Video Output	$1V_{p-p}$ / 75 Ohm, Composite
Power Consumption	12VDC, 50-60Hz

ตารางที่ 9.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของกล้องวีดีโอรุ่น LYD-805C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การ์ดแสดงผลพร้อมตัวจับภาพ ยี่ห้อ ATI รุ่น Radeon All-in-wonder 9800 PRO

รายการ	รายละเอียด
GPU	RADEON 9800 PRO
Memory	128 MB 256-bit DDR SDRAM
Support DirectX	9.0
Support OpenGL	1.5
Output	DVI-I / TV-Out / Video-Out / D-Sub
Input	Video-In / TV Tuner (AV, S-Video Connector)
Bus	AGP 8X/4X/2X
Max Capture Rate	50 fps @ 320x240
Supported Video Signal	PAL, NTSC, SECAM
Image Color Output	YUV Color

ตารางที่ 9.2 ตารางแสดงคุณลักษณะของการ์ดจับภาพ

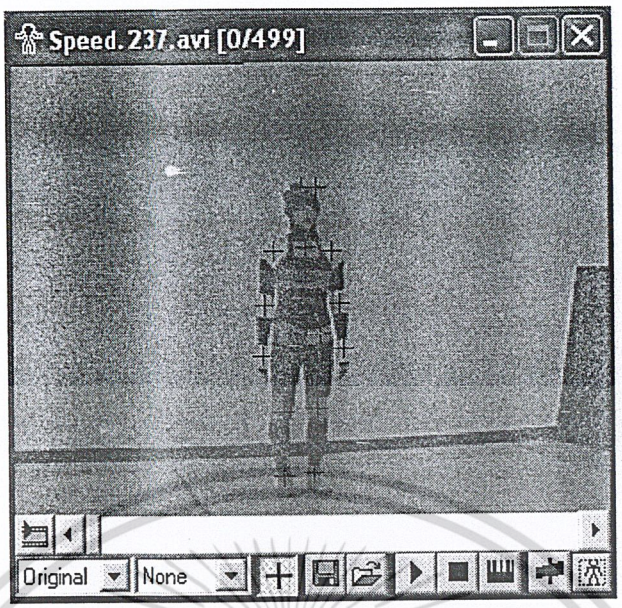
3. ขาตั้งกล้อง 2 ตัว (Tripod) ยี่ห้อ SLIK รุ่น U9000
4. เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 ตัว และอุปกรณ์เครือข่ายสำหรับเชื่อมต่อ
5. ชุดของนักแสดงซึ่งมีแถบผ้าสีติดอยู่ตามจุดของข้อต่อของร่างกาย 1 ชุด

9.1 การตรวจจับ ติดตาม และแยกมาร์กเกอร์

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์จากภาพวิดีโอ ว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่และได้ผลเป็นเช่นไร โดยการบันทึกภาพวิดีโอการเคลื่อนไหวของผู้แสดงในท่าทางการแกว่งแขนขวาขึ้นลง จากนั้นนำมาให้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทำการตรวจจับและติดตามมาร์กเกอร์ ผลการทดสอบจะรวมถึงการประมวลผลภาพ การตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ และการติดตามมาร์กเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

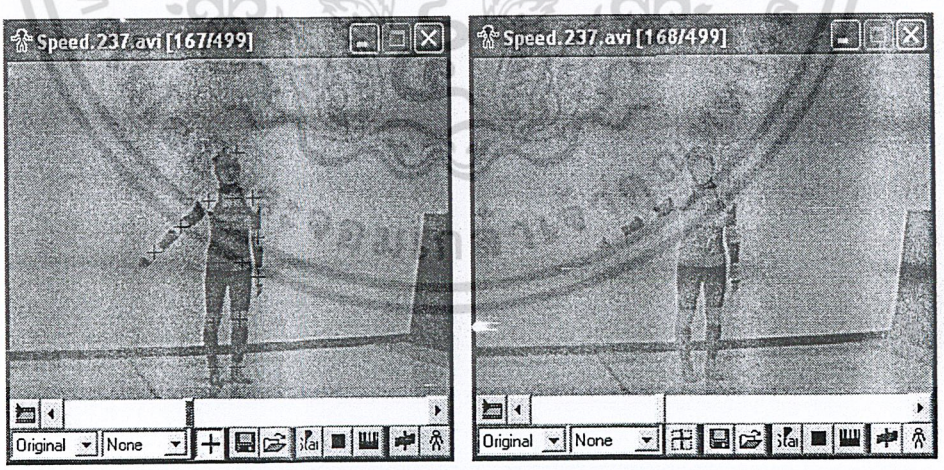
9.1.1 การตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในท่าเริ่มต้น



รูปที่ 9.1 การตรวจจับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในท่าเริ่มต้น

ในเฟรมแรกผู้ใช้จะต้องทำการกำหนดตำแหน่งของมาร์กเกอร์ทุกจุด เพื่อใช้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการติดตาม แต่เพื่อความสะดวก โปรแกรมสามารถที่จะตรวจจับตำแหน่งให้เองได้ แต่จะต้องอยู่ในท่าทางที่กำหนดคือยืนตรงแขนแนบชิดลำตัวดังรูปที่ 9.1 ซึ่งโปรแกรมสามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

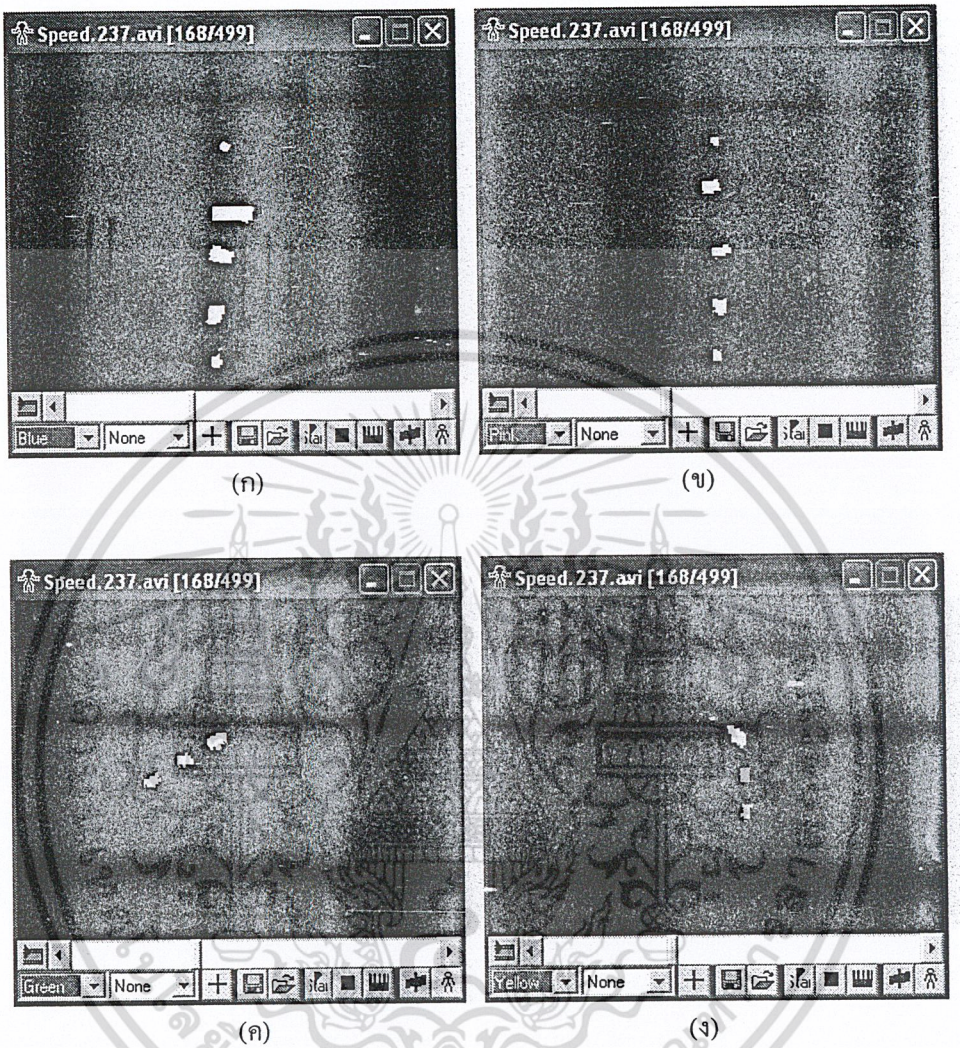
9.1.2 การประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่ง



(ก) (ข)

รูปที่ 9.2 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 167
(ข) แสดงภาพที่ต้องตรวจจับในเฟรมที่ 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



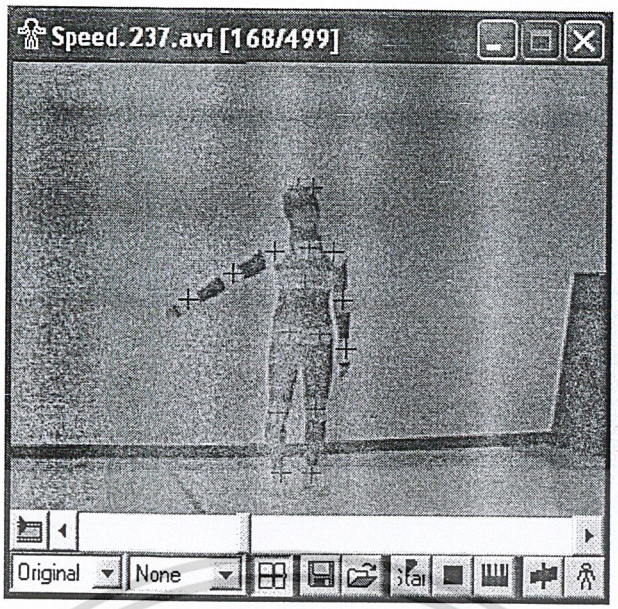
รูปที่ 9.3 (ก) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีน้ำเงิน

(ข) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีชมพู

(ค) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีเขียว

(ง) ภาพที่ได้หลังการทำ Threshold ในช่วงสีเหลือง

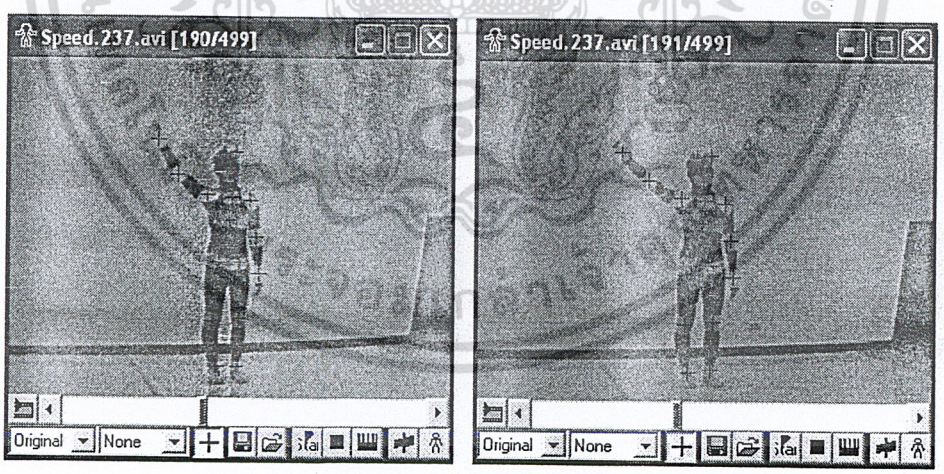
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.4 แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 167

จากรูปที่ 9.2 (ก) เป็นตำแหน่งที่โปรแกรมสามารถตรวจจับได้ในเฟรมก่อนหน้า และในรูปที่ 9.2 (ข) เป็นภาพในเฟรมถัดมาที่ต้องการทำตรวจจับ โดยในรูปที่ 9.3 แสดงภาพขาว-ดำที่ได้จากการทำ Threshold ในช่วงสีต่างๆ ซึ่งพบว่าโปรแกรมสามารถตัดช่วงสีที่ต้องการออกมาได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้ว่าจะมีจุดรบกวนบ้าง แต่ก็มีปริมาณที่น้อย ซึ่งโปรแกรมสามารถแยกแยะได้อย่างถูกต้อง ดังในรูปที่ 9.4

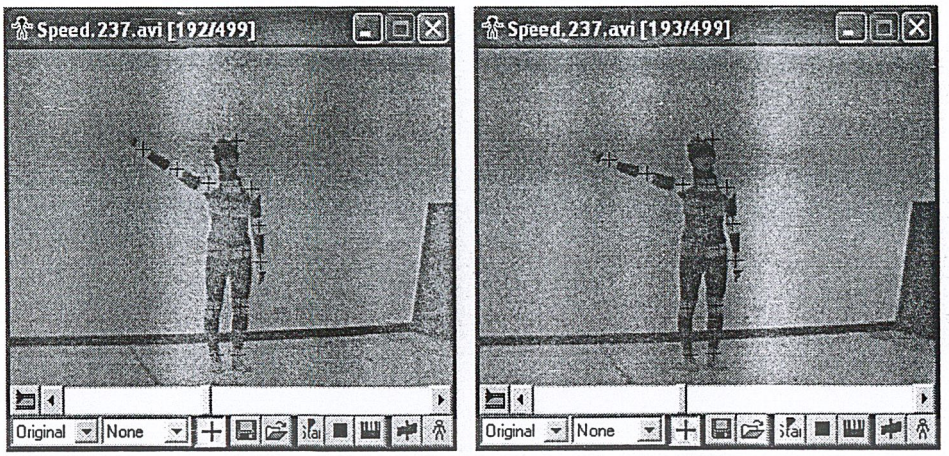
9.1.3 การติดตามมาร์กเกอร์



(ก) (ข)

รูปที่ 9.5 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 190
(ข) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) (ง)

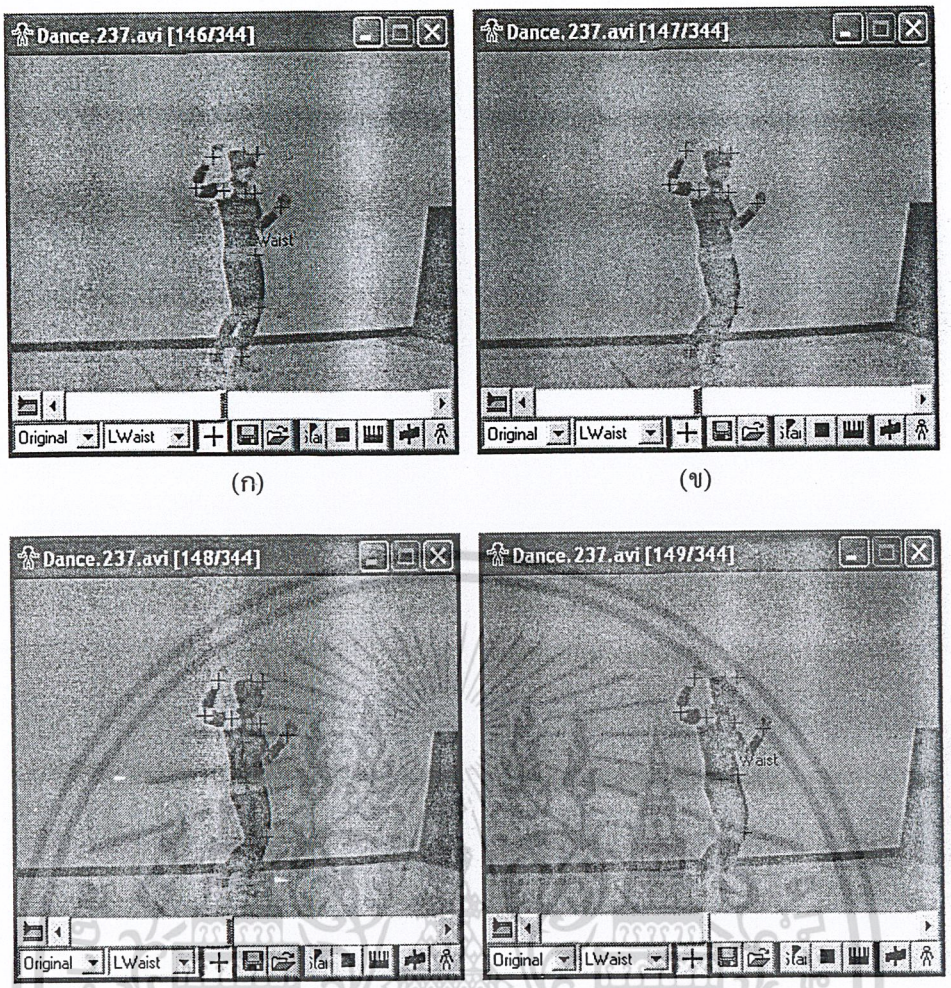
รูปที่ 9.5 (ต่อ) (ค) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 192
(ง) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 193

จากการให้โปรแกรมทำการตรวจจับอย่างต่อเนื่อง พบว่าสามารถตรวจจับมาร์กเกอร์แต่ละจุดได้อย่างถูกต้อง และสามารถติดตามได้อย่างต่อเนื่อง แต่ก็จะมีบ้างบางครั้งหากมาร์กเกอร์ถูกบดบังหรือมาร์กเกอร์ที่มีสีเดียวกันอยู่ติดกัน ก็จะทำให้การตรวจจับมีปัญหาได้

9.1.4 การละเว้นการตรวจจับ

เนื่องจากจะมีบางเฟรมที่ไม่สามารถตรวจจับมาร์กเกอร์บางจุดได้ ซึ่งอาจเกิดจากการไม่สามารถแยกช่วงสีของจุดที่ต้องการออกมาได้ในขั้นตอนการทำ Threshold หรืออาจเกิดการบดบังของมาร์กเกอร์หรือการติดใกล้กันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน เป็นต้น โดยโปรแกรมจะมีระบบสำหรับช่วยลดการให้ผู้ใช้เป็นผู้ตรวจจับเองลง จากการทดสอบ โปรแกรมสามารถทำงานได้โดยการข้ามเฟรมที่มีจุดที่ไม่สามารถตรวจจับลงไป แต่ไม่เกิน 2 เฟรมติดกันต่อจุด ซึ่งพบว่าการไม่ตรวจจับได้มักเกิดจากกระบวนการประมวลผลภาพที่ไม่สามารถให้ตำแหน่งจุดนั้นๆ ได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากสภาพของภาพ ณ จุดนั้น มีช่วงสีไม่ตรงกับช่วงสีที่ทำ Threshold หรือการบดบังของมารกเกอร์หรือการติดกันของมาร์กเกอร์สีเดียวกันเป็นช่วงสั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.6 (ก) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 146
(ข) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 147
(ค) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 148
(ง) แสดงตำแหน่งมาร์กเกอร์ที่ตรวจจับได้ในเฟรมที่ 149

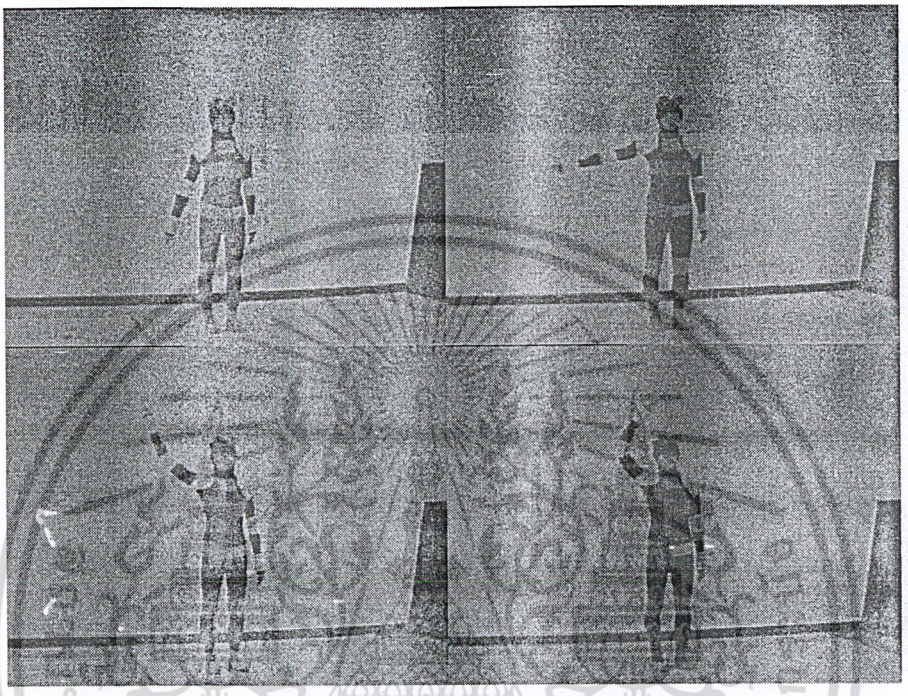
อย่างไรก็ตาม โดยส่วนมากจะไม่สามารถดำเนินการตรวจจับได้ ในกรณีที่เกิดการบดบังหรือการติดกันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน เพราะกรณีนี้มักมีระยะเวลานานกว่า 2 เฟรม (สำหรับการบันทึกภาพที่อัตรา 25 เฟรมต่อวินาที)

จากรูปที่ 9.6 เป็นรูปตัวอย่างแสดงการละเว้นการตรวจจับในบางเฟรมไป แล้วกลับมาตรวจจับได้ในภายหลัง จากรูปที่ 9.6 (ก) เป็นรูปที่ตรวจจับได้ทุกจุด ต่อมาในรูปที่ 9.6 (ข) และ 9.6 (ค) จุดบริเวณสะโพกซ้าย (Left Waist) ไม่สามารถตรวจจับได้ แต่โปรแกรมก็กลับมาตรวจจับได้ในเฟรมต่อมาดังรูปที่ 9.6 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2 ความเร็วในการเคลื่อนไหว

การทดสอบนี้เพื่อหาความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนไหวของผู้แสดงที่ระบบสามารถตรวจจับได้ โดยใช้ค่ารัศมีในการตรวจจับ (ค่า R) ต่างๆ กัน โดยบันทึกภาพผู้แสดงแกว่งแขนขึ้นลงจากช้าสุดไปเร็วสุด ด้วยอัตราภาพที่ 25 เฟรมต่อวินาที จากนั้นนำภาพไปตรวจจับ โดยให้โปรแกรมทำการตรวจจับไปจนกว่าจะตรวจจับไม่ได้ จากนั้นหาระยะทางระหว่างตำแหน่งในเฟรมแรกที่ตรวจจับไม่ได้กับตำแหน่งในเฟรมก่อนหน้าซึ่งตรวจจับได้ แล้วหาความเร็วออกมาเพื่อบันทึกผล และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 9.1



รูปที่ 9.7 แสดงท่าทางที่ใช้ในการตรวจจับสำหรับการทดลอง

รัศมีการตรวจจับ (พิกเซล)	ระยะทางที่เคลื่อนไหวใน 1 เฟรม (มิลลิเมตร)	ความเร็วการเคลื่อนที่ ณ เฟรมที่ตรวจจับไม่ได้ (มม./วินาที)
5	58.14	1453.5
10	119.57	2989.25
15	201.97	5049.25
20	232.89	5822.25
25	289.18	7229.5
30	ไม่มี	ไม่มี
40	ไม่มี	ไม่มี
50	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 9.3 ตารางแสดงความเร็วการเคลื่อนที่ต่ำสุดที่ตรวจจับไม่ได้ ณ รัศมีการตรวจจับต่างๆ

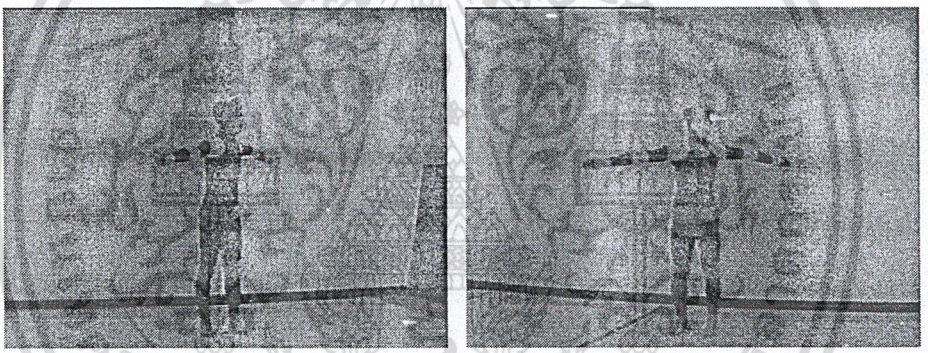
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 9.1 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มรัศมีการตรวจจับ ทำให้สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวที่เร็วขึ้นได้ ซึ่งหากมีค่ามากพอ เช่น 30 พิกเซล ระบบสามารถตรวจจับได้ตลอดการเคลื่อนไหว ดังนั้นการใช้ค่ารัศมีการตรวจจับที่มากก็จะมีข้อดี แต่อย่างไรก็ตามการใช้รัศมีการตรวจจับก็เพื่อป้องกันการไปตรวจจับจุดอื่นที่ไม่ใช่จุดที่สนใจ เช่น จุดรบกวน ดังนั้นการตั้งค่ารัศมีการตรวจจับให้น้อยที่สุดจึงเป็นการดี ดังนั้นการเลือกรัศมีการตรวจจับจึงควรใช้ค่าที่น้อยที่สุดที่ยังทำให้สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้กำหนดค่ารัศมีการตรวจจับไว้ที่ 40 พิกเซล

9.3 ท่าทางที่ไม่สามารถทำการตรวจจับได้

เนื่องด้วยข้อจำกัดของระบบ ที่จะไม่สามารถตรวจจับมาร์กเกอร์ได้หากมาร์กเกอร์ถูกบดบัง หรือหากมาร์กเกอร์ที่มีสีเดียวกันเคลื่อนสวนกันหรืออยู่ติดกัน ซึ่งจะทำให้โปรแกรมไม่สามารถแยกแยะได้ ทำให้โปรแกรมไม่สามารถตรวจจับได้ในที่สุด และต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้ตรวจจับแทน การทดสอบนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นท่าทางตัวอย่างบางส่วนที่โปรแกรมไม่สามารถตรวจจับได้

9.3.1 การหมุนตัวในมุมมากเกิน



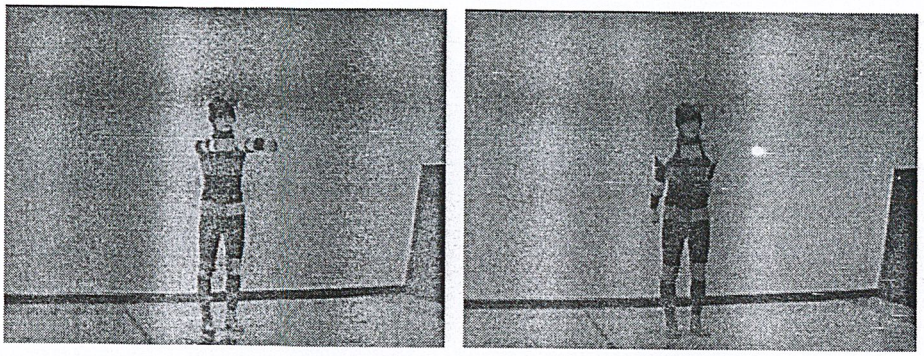
(ก) (ข)

รูปที่ 9.8 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงท่าการหมุนตัวไปทางซ้าย
(ข) ภาพจากกล้องขวาท่าแสดงการหมุนตัวไปทางซ้าย

จากรูปที่ 9.8 เป็นการกางแขนเพื่อหมุนตัว โดยหมุนทั้งแขน ลำตัวและศีรษะ จากการวัดเพื่อหาค่ามุมได้ประมาณ 40 องศา ซึ่งหากหมุนมากกว่านั้นมีโอกาสที่มาร์กเกอร์จะถูกบดบัง แล้วตรวจจับไม่ได้ ซึ่งมาร์กเกอร์ที่ถูกบดบังมักเป็นมาร์กเกอร์ช่วงไหล่และสะโพก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3.2 การแกว่งแขนหน้า-หลัง

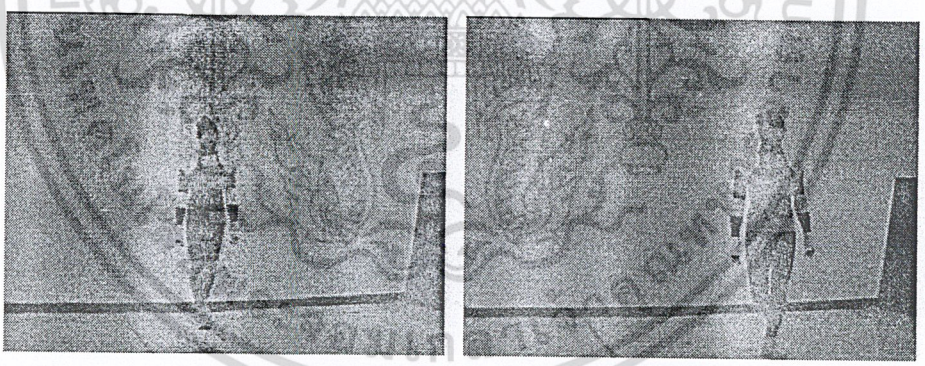


(ก) (ข)

รูปที่ 9.9 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงท่าการแกว่งแขนไปข้างหน้า
(ข) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงท่าการแกว่งแขนไปข้างหลัง

จากรูปที่ 9.5 (ก) จะเห็นว่าเมื่อแกว่งแขวนไปข้างหน้า จะทำให้เกิดการบดบังของมาร์กเกอร์และรวมกันของสีมาร์กเกอร์ของมาร์กเกอร์ช่วงแขน ซึ่งจะใช้สีเดียวกัน และในรูปที่ 9.5 (ข) เป็นการแกว่งแขวนไปข้างหลังทำให้บริเวณลำตัวบดบังมาร์กเกอร์ที่แขนได้

9.2.3 การเดินสลับขา

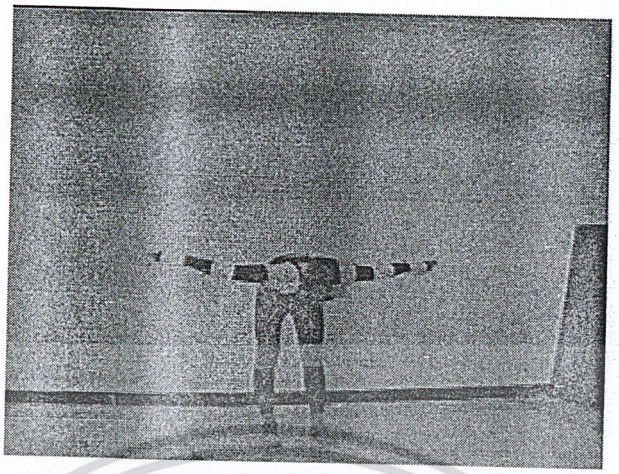


(ก) (ข)

รูปที่ 9.10 (ก) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการเดินไปข้างหน้า
(ข) ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการเดินไปด้านข้าง

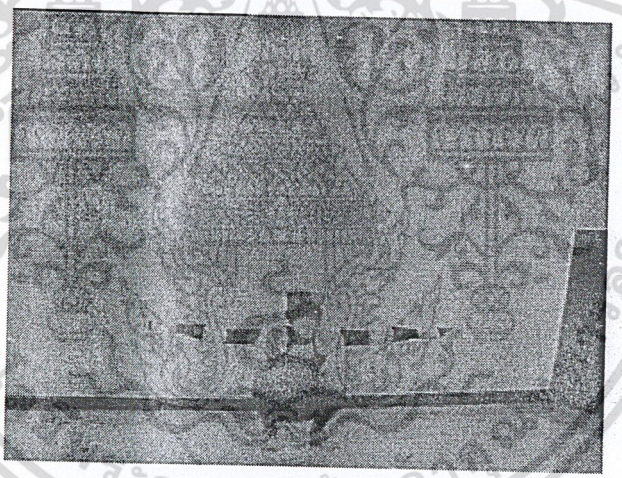
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3.4 การก้มตัว



รูปที่ 9.11 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการก้มตัว

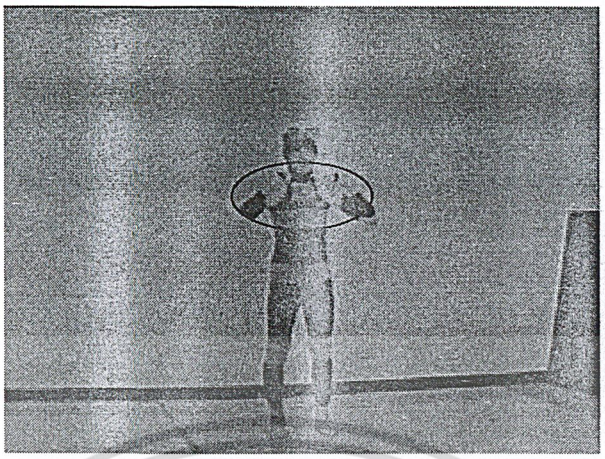
9.3.5 การนั่ง



รูปที่ 9.12 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการนั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3.6 การเคลื่อนสวนหรือใกล้กันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน



รูปที่ 9.13 ภาพจากกล้องซ้ายแสดงการใกล้กันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน

9.3.7 สรุปผลการทดสอบ

จากกรณีตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง สรุปได้ว่าการตรวจจับตำแหน่งของมาร์กเกอร์ของโปรแกรม ไม่สามารถทำได้ทุกกรณี โดยเฉพาะการบดบังของมาร์กเกอร์ และการอยู่ติดกันของมาร์กเกอร์สีเดียวกัน เนื่องจากใช้กล้องเพียง 2 ตัวทำให้มุมมองจำกัด ถือเป็นข้อจำกัดของระบบ และทำให้ท่าทางที่จะตรวจจับได้น้อยลงด้วย

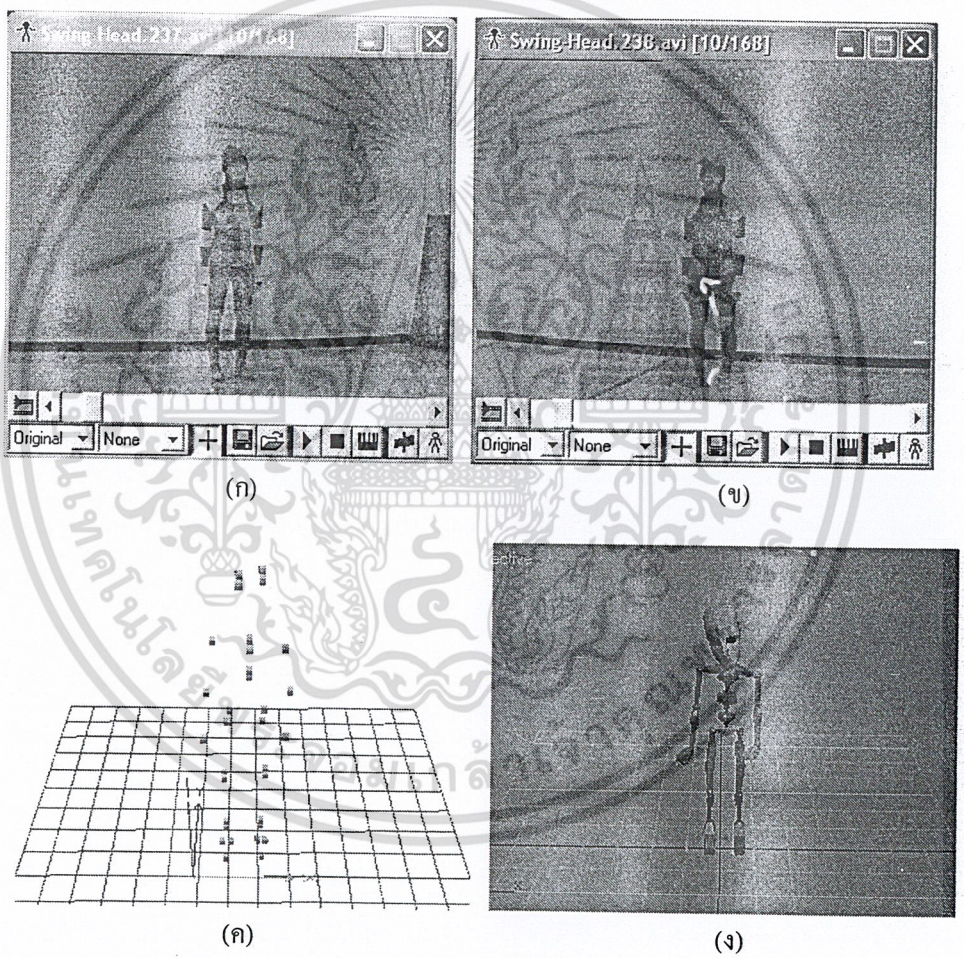
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 ความถูกต้องของท่าทางการเคลื่อนไหวที่ได้จากการตรวจจับ

จากการสร้างค่าตำแหน่งของมาร์กเกอร์ให้ครบ 36 จุด จากค่าที่ได้จากการตรวจจับตำแหน่งของมาร์กเกอร์ 16 จุดนั้น ส่งผลให้ท่าทางการเคลื่อนไหวของตัวละครมีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบความถูกต้องของท่าทางการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูปในแต่ละส่วน หลังจากมีการสร้างไฟล์ข้อมูลให้มีค่าตำแหน่งของมาร์กเกอร์ครบ 36 จุดได้ดังนี้

9.4.1 การเคลื่อนไหวของส่วนศีรษะ และสะโพก

สำหรับการเคลื่อนไหวในศีรษะ และสะโพกส่วนนี้นั้นจะมีการสร้างค่าของจุดเพิ่มอีก 2 จุด คือจุดบริเวณด้านหลังข้างซ้ายและขวา โดยสร้างขึ้นมาจากสมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรงของจุดบริเวณด้านหน้าทั้ง 2 จุด โดยตามความสัมพันธ์ของสมการที่ใช้นั้นจุดบริเวณด้านหน้า และด้านหลังจะต้องมีตำแหน่งที่ขนานกันเสมอ ซึ่งสามารถแสดงผลท่าทางที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



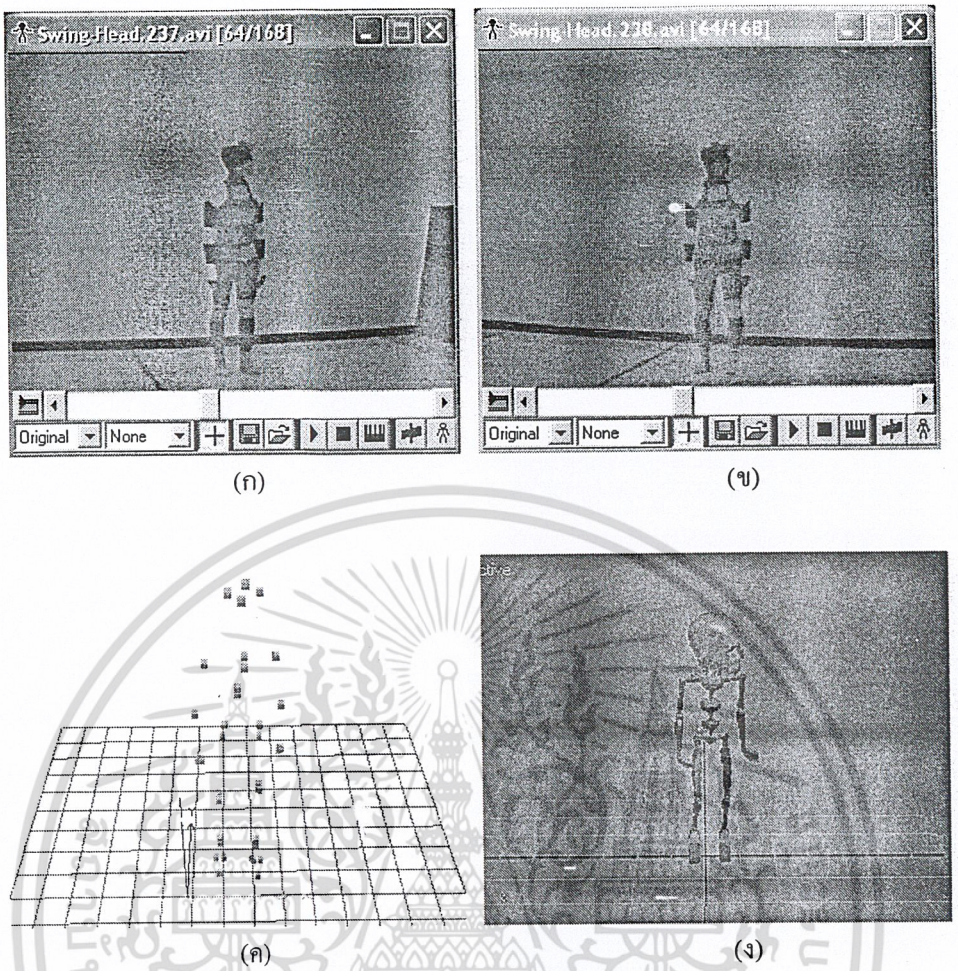
รูปที่ 9.14 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายก่อนหันหน้า

(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาก่อนหันหน้า

(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว

(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

(ค) (ง)

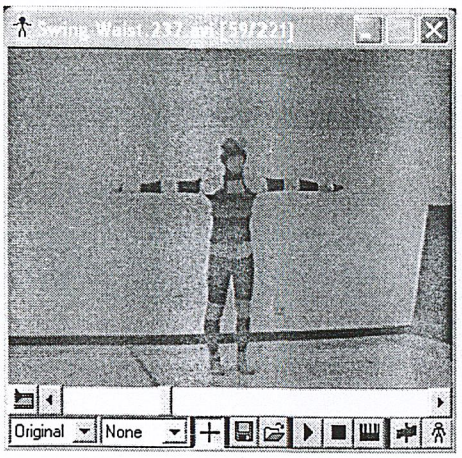
รูปที่ 9.15 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายหลังจากหันหน้า

(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาหลังจากหันหน้า

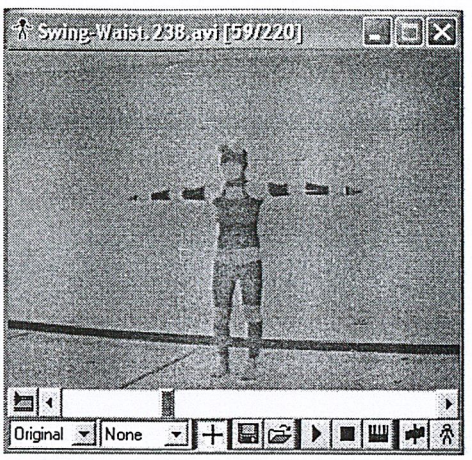
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว

(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

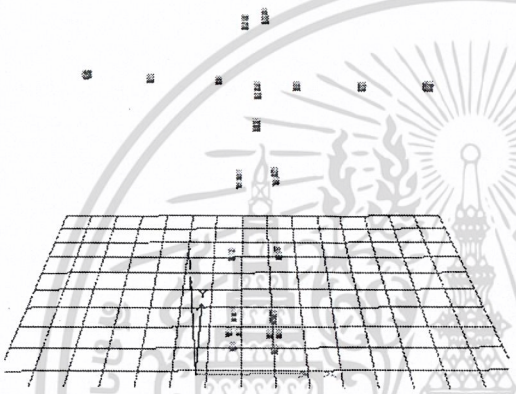
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



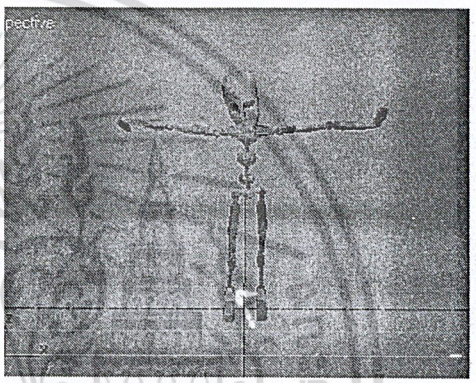
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

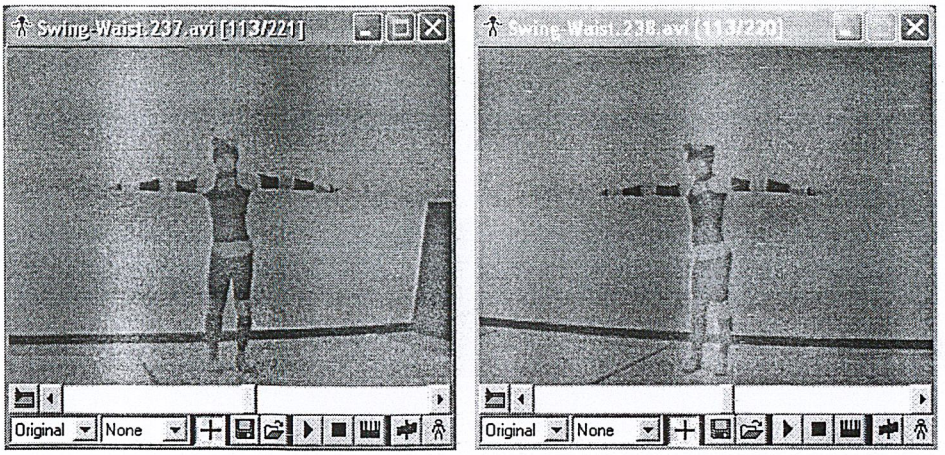
รูปที่ 9.16 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายก่อนบิดสะโพก

(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาก่อนบิดสะโพก

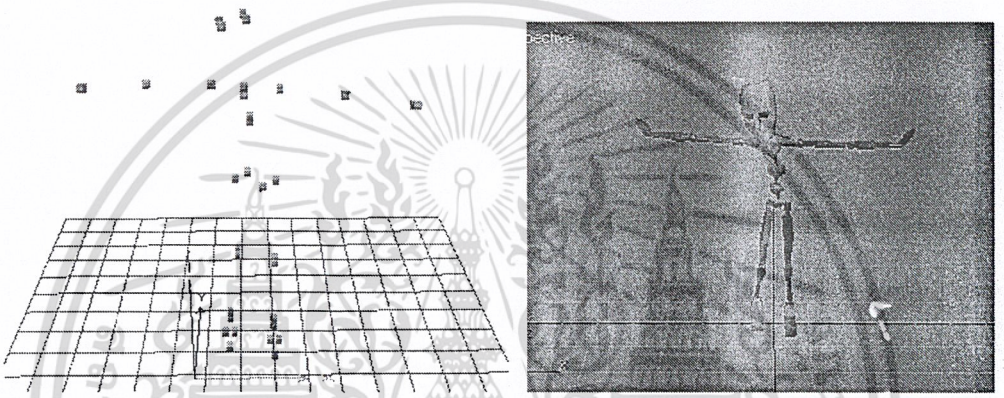
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว

(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)



(ค) (ง)

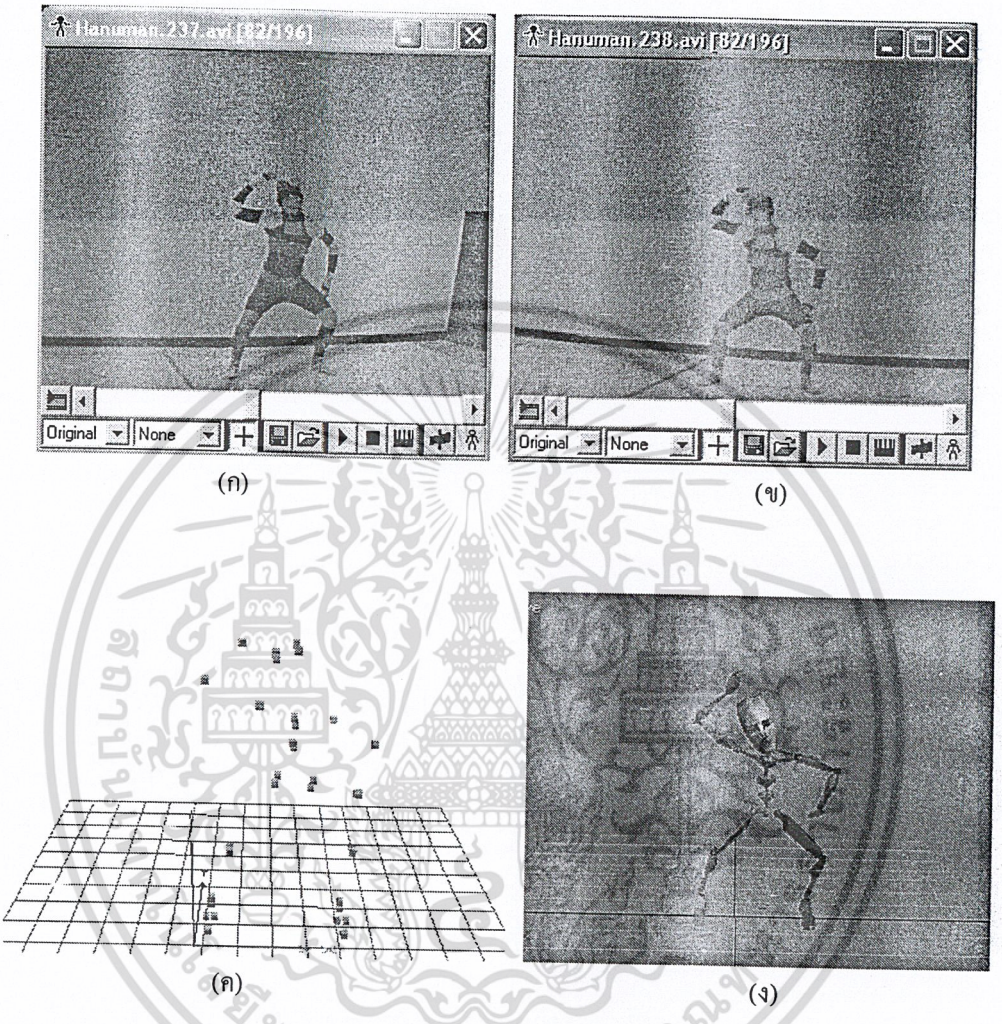
รูปที่ 9.17 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายหลังจากบิดสะโพก
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาหลังจากบิดสะโพก
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

จากรูปที่ 9.14 ถึง 9.17 จะสังเกตได้ว่าการเคลื่อนไหวในส่วนของศีรษะและสะโพกหลังจากที่ได้สร้างจุดบริเวณด้านหลังเพิ่มเข้าไปแล้วยังคงได้ท่าทางการเคลื่อนไหวที่ถูกต้อง โดยตามความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์แบบเส้นที่ใช้ในการสร้างจุดบริเวณด้านหลังนั้น จะยังมีข้อจำกัดว่ายังไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของจุดด้านหน้าและด้านหลังในลักษณะท่าทางแบบก้มไปข้างหน้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4.2 การเคลื่อนไหวของส่วนแขน

สำหรับการเคลื่อนไหวในส่วนแขนจะมีการสร้างจุดขึ้นอีกข้างละ 2 จุดคือ ข้อมือด้านในและนิ้วมือ ซึ่งทั้ง 2 จุดนี้จะสร้างขึ้นมาจากค่าของจุดมาร์กเกอร์ที่ได้จากการตรวจจับมาร์กเกอร์บริเวณข้อมือ ซึ่งสามารถแสดงท่าทางการเคลื่อนไหวในส่วนของแขนได้ดังนี้



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 9.18 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนแขน
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนแขน
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

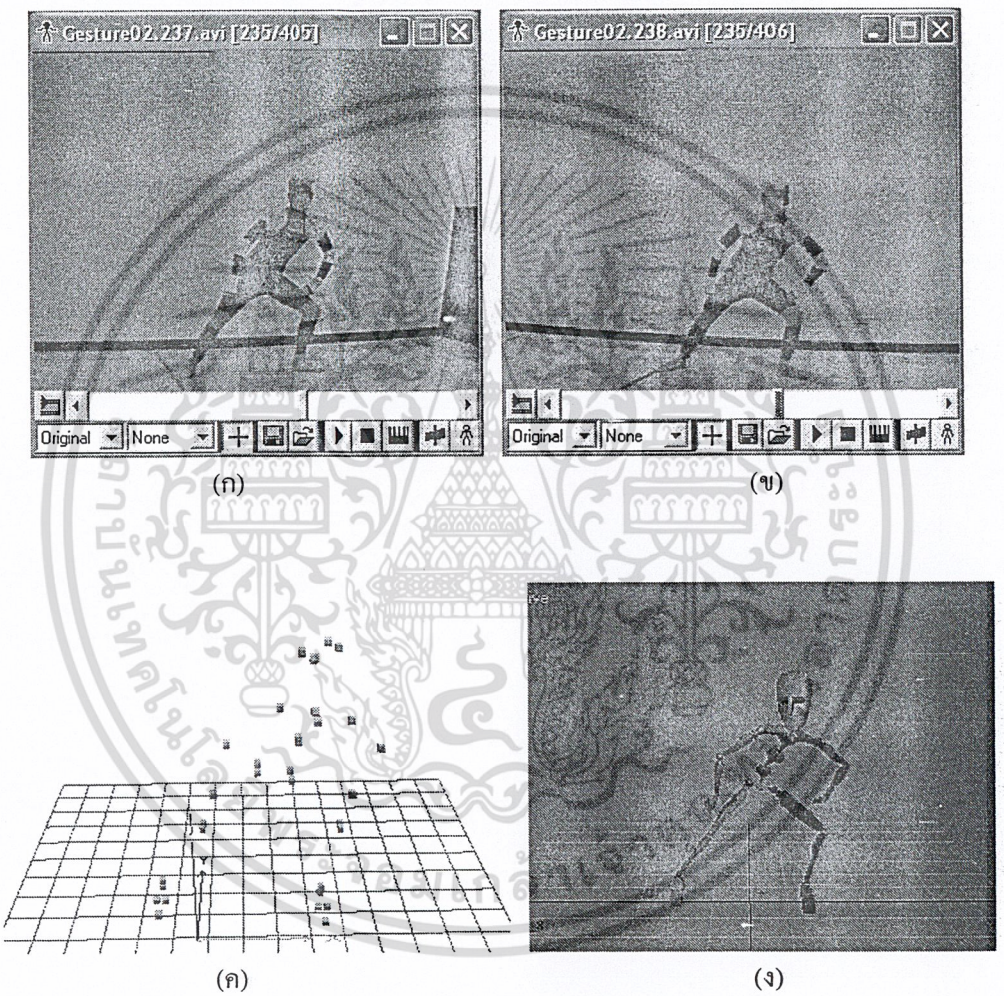
จากรูปที่ 9.18 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อนักแสดงมีการเคลื่อนไหวแขนแล้ว ตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์และท่าทางที่ได้จากการไฟล์สร้างการเคลื่อนไหวที่ได้มีการสร้างจุดในส่วนแขนเพิ่มเข้าไป ผลที่ได้ยังคงให้ค่าตำแหน่งและท่าทางของส่วนแขนได้อย่างถูกต้อง แต่ในส่วนนี้ยังคงมีข้อจำกัดเรื่องของการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่าทางเคลื่อนไหวที่มีความละเอียดมากๆ อยู่เช่นกัน เช่น การบิดของข้อมือ และการเคลื่อนไหวของมือ เป็นต้น

9.4.3 การเคลื่อนไหวในส่วนลำตัว

สำหรับในส่วนของลำตัวจะต้องมีการสร้างค่าของจุดมาร์กเกอร์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน คือจุดบริเวณด้านหลังของจุดบริเวณหน้าอกทั้ง 2 จุด โดยสร้างค่าของจุดบริเวณด้านหลังมาจากค่าของจุดบริเวณหน้าอกด้านหน้า ซึ่งหลังจากที่มีการเพิ่มจุดด้านหลังเข้าไปแล้วจะสามารถสร้างการเคลื่อนไหวในส่วนของลำตัวได้ดังนี้



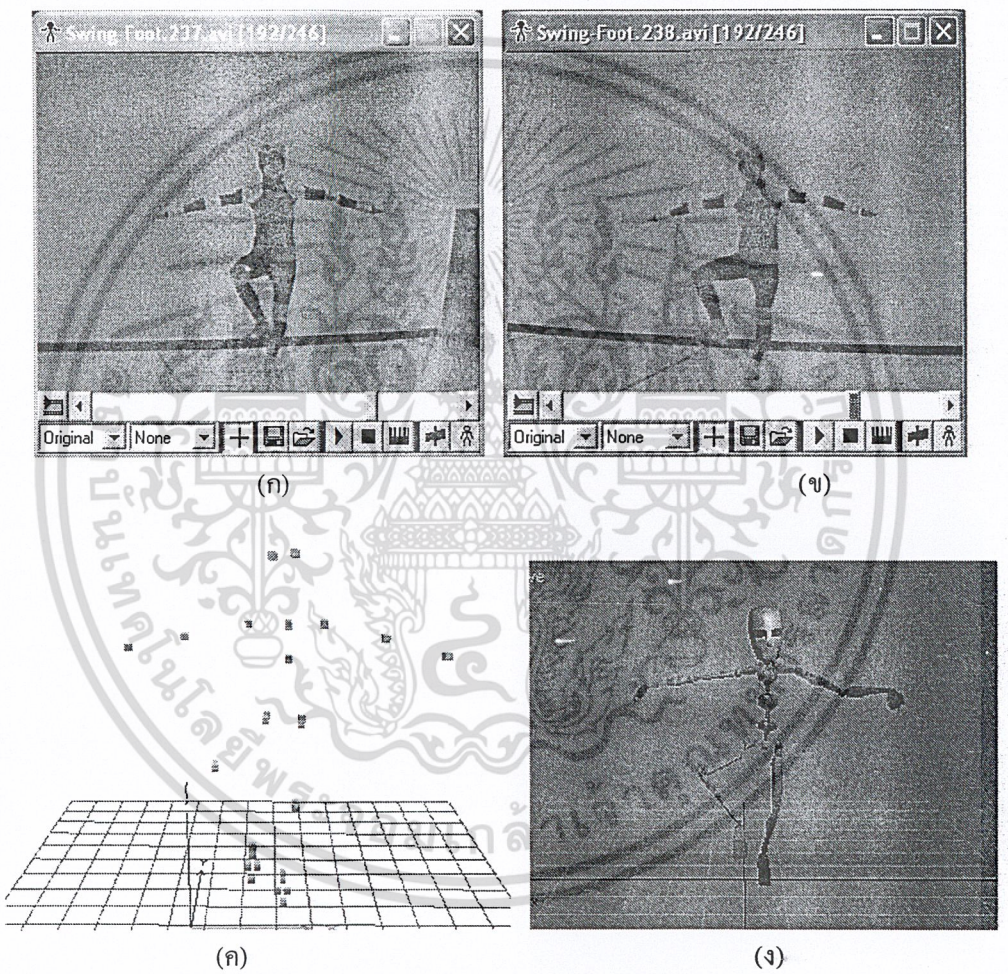
รูปที่ 9.19 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนลำตัว
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนลำตัว
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 9.19 จะสังเกตเห็นได้ว่าสามารถสร้างการเคลื่อนในส่วนของลำตัวได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสำหรับในส่วนก็ยังคงมีข้อจำกัดในการสร้างการเคลื่อนไหวอยู่เช่นกัน แต่เป็นข้อจำกัดที่เกิดมาจากความสามารถในการสร้างจุดบริเวณด้านหลังจากค่าของจุดบริเวณหน้าอกด้านหน้าเมื่อมีการบดบัง

9.4.4 การเคลื่อนไหวในส่วนของขา และเท้า

สำหรับในส่วนของขาและเท้านั้นจะมีการสร้างค่าจุดมาร์กเกอร์เพิ่มเติมเข้าไปอีกหลายจุดด้วยกัน ได้แก่จุดบริเวณหัวเข่าด้านหลัง และจุดบริเวณเท้าทั้งหมด ซึ่งในการสร้างค่าของจุดต่างๆ เหล่านี้จะสร้างมาจากค่าของจุดมาร์กเกอร์บริเวณหัวเข่าด้านหน้า และจุดมาร์กเกอร์บริเวณข้อเท้า ซึ่งสามารถแสดงท่าทางการเคลื่อนไหวของขา และเท้าได้ดังนี้



รูปที่ 9.20 (ก) ภาพจริงจากกล้องด้านซ้ายเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนขา
(ข) ภาพจริงจากกล้องด้านขวาเมื่อมีการเคลื่อนไหวส่วนขา
(ค) ภาพของจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง และสร้างจุดที่ขาดไปแล้ว
(ง) ภาพท่าทางของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่ได้จากการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

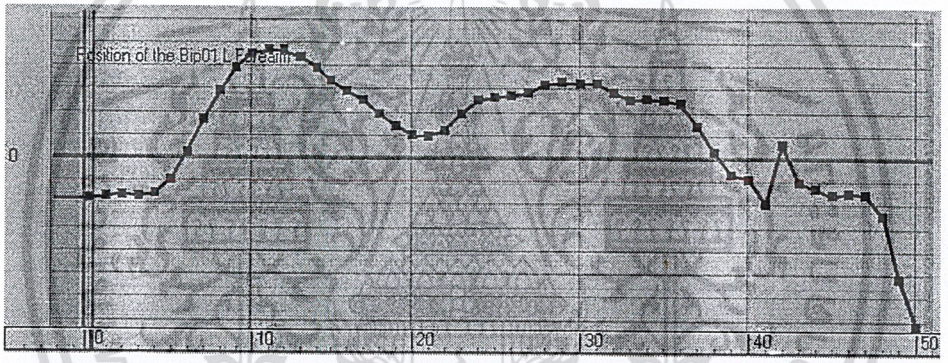
จากรูปที่ 9.20 จะสังเกตได้ว่าเมื่อนำไฟล์เคลื่อนไหวที่ได้ทำการสร้างค่าตำแหน่งบริเวณหัวเข่าด้านหลัง และบริเวณเท้าเข้าไปแล้วจะสามารถสร้างการเคลื่อนไหวของขา และตำแหน่งของเท้าได้อย่างถูกต้อง แต่พบว่ามีข้อจำกัดคือ จะไม่สามารถสร้างท่าทางการเคลื่อนไหวที่มีความละเอียดอย่างเช่นการหมุนข้อเท้า และการเคลื่อนไหวของบริเวณปลายเท้าได้

9.5 การปรับปรุงตำแหน่งการเคลื่อนไหว

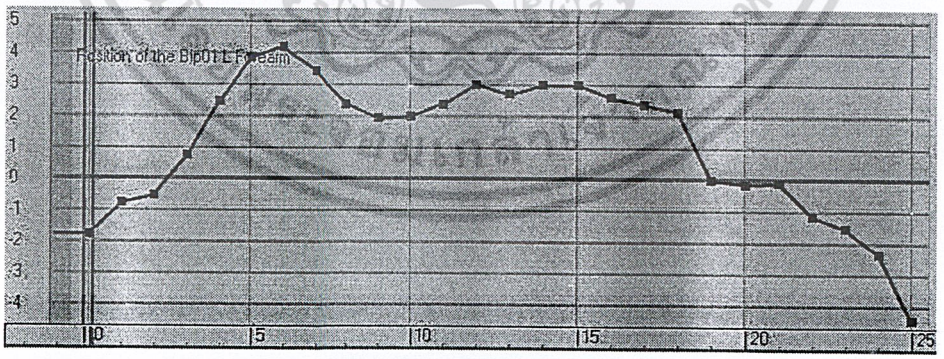
การทดสอบนี้เพื่อแสดงให้เห็นการเคลื่อนไหวที่ได้หลังจากการปรับปรุงตำแหน่งโดยวิธีการเฉลี่ยจุดทั้งใน 2 มิติและสามมิติ เนื่องจากข้อมูลที่ระบบสามารถตรวจจับได้ มีความผิดพลาดอยู่บ้าง คือมีการสั่นของจุด แม้ว่าผู้แสดงจะอยู่นิ่งก็ตาม จึงต้องมีการปรับปรุงตำแหน่ง โดยมี 2 วิธีคือการลดเฟรมเรทและการเฉลี่ยค่าจุด ดังที่ได้อธิบายในส่วนการออกแบบไว้แล้ว

การทดสอบจะใช้ภาพการเคลื่อนไหวเดียวกันมาตรวจจับ จากนั้นนำตำแหน่งจุดที่ได้จุดเดียวกันมาสร้างกราฟ เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวที่ไม่ได้ปรับปรุง และหลังการทำปรับปรุงตำแหน่ง

9.5.1 การปรับปรุงตำแหน่งโดยลดเฟรมเรท

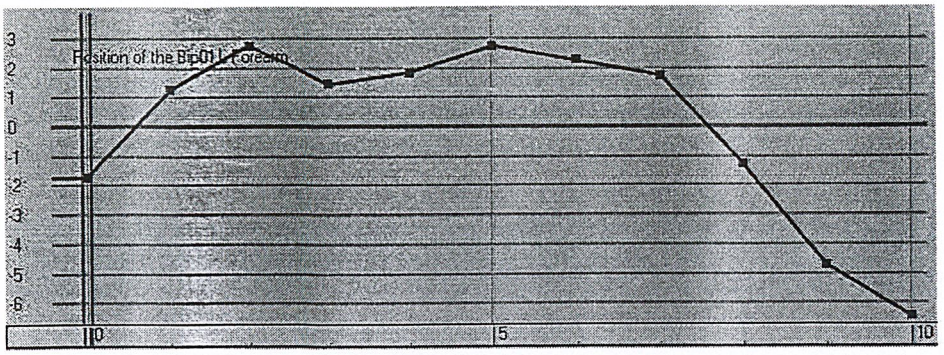


รูปที่ 9.21 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยไม่มีการปรับปรุงตำแหน่ง



รูปที่ 9.22 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยการลดเฟรมเรทลงครึ่งหนึ่ง

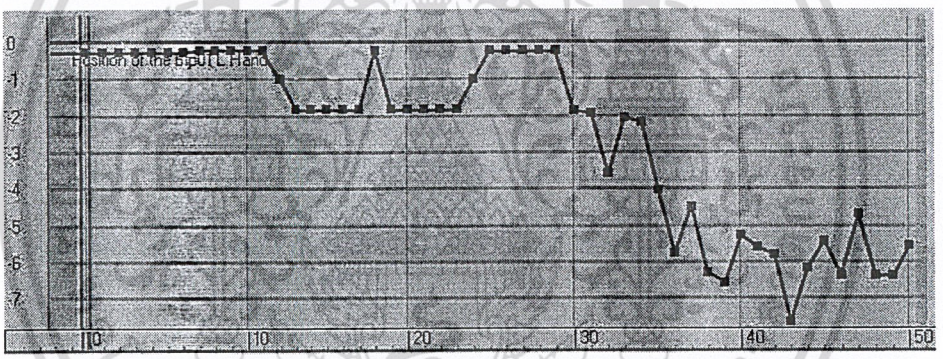
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



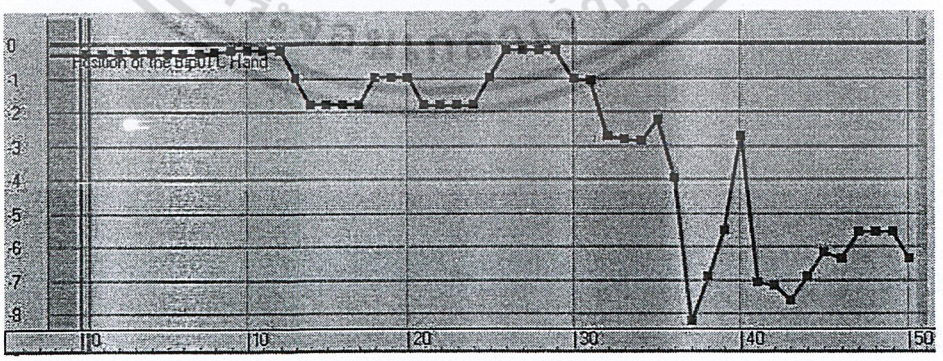
รูปที่ 9.23 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดน่อง โดยการลดเฟรมเรทลงหนึ่งในห้า

จากรูปที่ 9.21 แสดงการเคลื่อนไหวของจุดน่อง ซึ่งมีเฟรมเรทเท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที ซึ่งเมื่อทำการลดเฟรมเรทลงครึ่งหนึ่งได้ผลดังรูปที่ 9.22 และเมื่อลดลงเหลือหนึ่งในห้าจะได้ผลดังรูปที่ 9.23 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น แต่มีข้อเสียคือความละเอียดในการเคลื่อนไหวลดลง

9.5.2 การปรับปรุงตำแหน่งโดยการเฉลี่ยค่าจุด

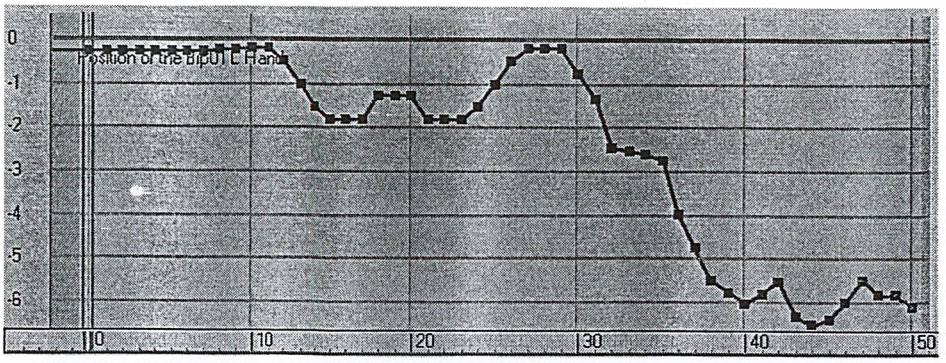


รูปที่ 9.24 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยไม่มีการปรับปรุงตำแหน่ง

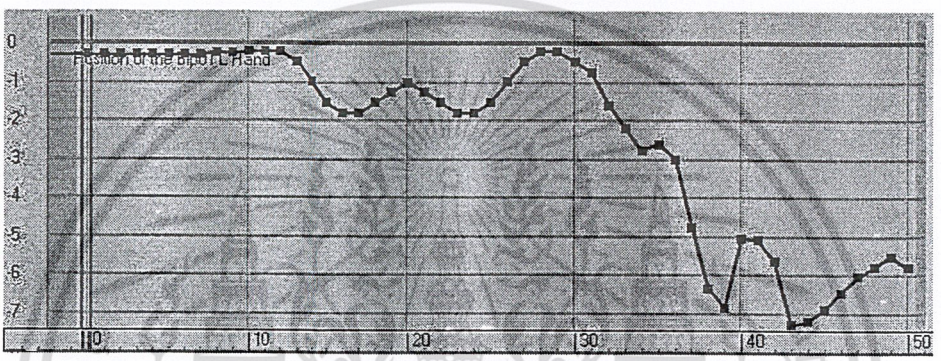


รูปที่ 9.25 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดใน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.26 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดใน 3 มิติ



รูปที่ 9.27 กราฟแสดงค่า Y ของการเคลื่อนไหวที่จุดมือซ้าย โดยเฉลี่ยค่าจุดทั้งใน 2 มิติและ 3 มิติ

จากรูปที่ 9.24 ถึง 9.27 แสดงให้เห็นว่าการเฉลี่ยจุด ทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้นอย่างมาก โดยไม่ลดความละเอียดลงไปมากนัก ซึ่งจะพบว่าการทำการเฉลี่ยจุดใน 3 มิติจะทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้นมากกว่าการทำเฉลี่ยภาพใน 2 มิติอย่างมาก

9.5.3 สรุปผลการทดสอบ

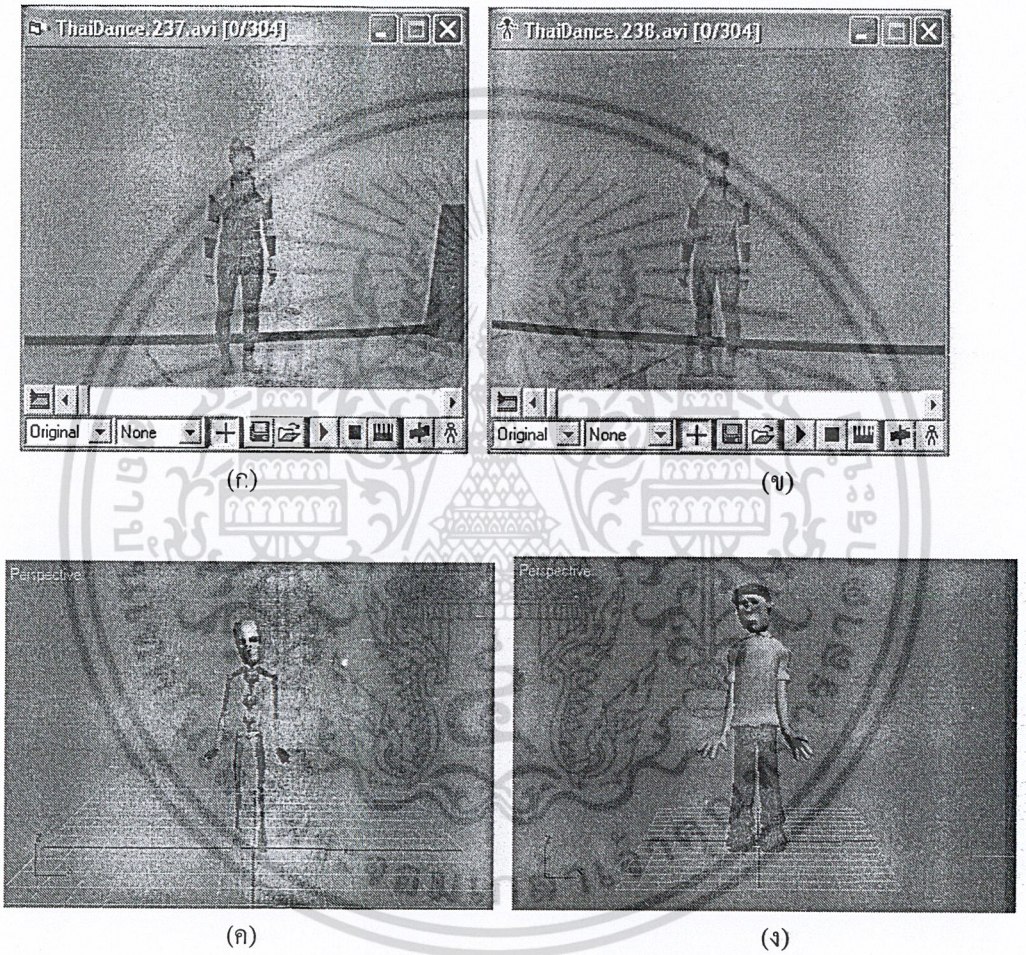
การปรับปรุงตำแหน่งโดยวิธีการลดเฟรมเรท ช่วยทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น และลดการสั่นของจุด แต่มีข้อเสียคือทำให้การเคลื่อนไหวมีความละเอียดลดลง ในขณะที่การปรับปรุงตำแหน่งโดยการเฉลี่ยจุดให้ผลที่ดีกว่า คือทำให้การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น โดยไม่ลดความละเอียดการเคลื่อนไหวลง อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงตำแหน่งก็ไม่ได้ทำให้การสั่นหมดไป เพียงแค่ลดลงเป็นการเคลื่อนไหวที่ไม่นิ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.6 การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร

การสร้างการเคลื่อนไหวให้ตัวละครจากไฟล์ข้อมูลบันทึกการเคลื่อนไหวที่ได้จากการวิเคราะห์หาตำแหน่งของมาร์กเกอร์นั้น ท่าทางการเคลื่อนไหวของตัวละครจะต้องเป็นไปตามการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูปที่มีข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากไฟล์บันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้บันทึกไว้ ซึ่งสามารถแสดงผลของการนำไฟล์ข้อมูลไปใช้สร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครได้จากตัวอย่างการทดสอบการเคลื่อนไหวแบบรำไทยได้ดังนี้

- การเคลื่อนไหวในเฟรมที่ 0



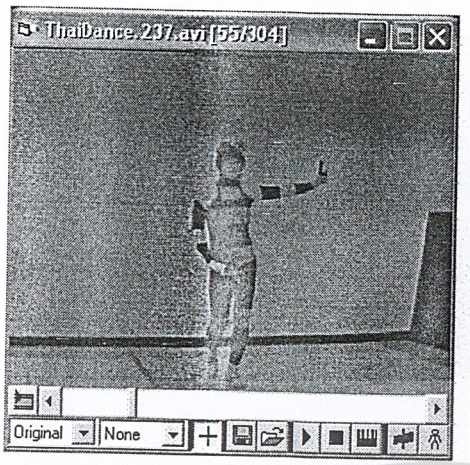
(ก) (ข)

(ค) (ง)

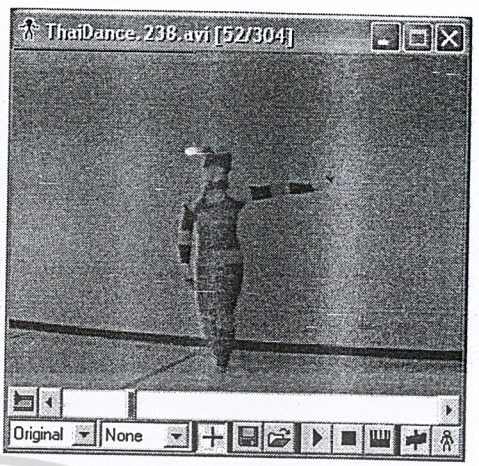
รูปที่ 9.28 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 0
(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 0
(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป
(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

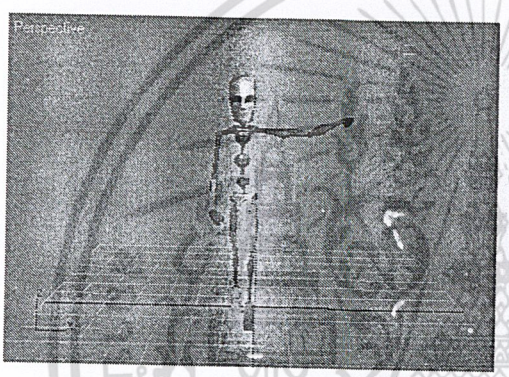
- การเคลื่อนไหวในเฟรมที่ 52



(ก)



(ข)



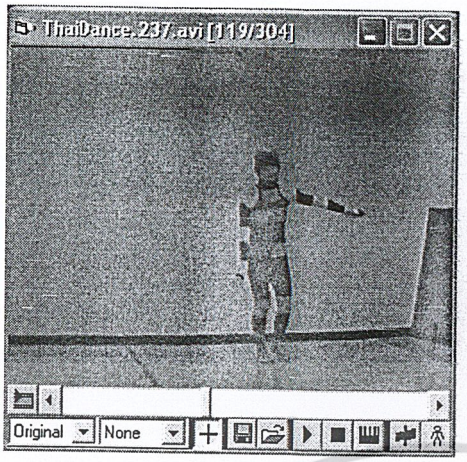
(ค)

(ง)

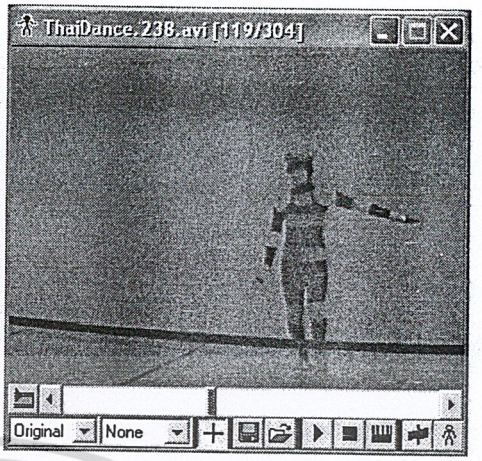
รูปที่ 9.29 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 52
(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 52
(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป
(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

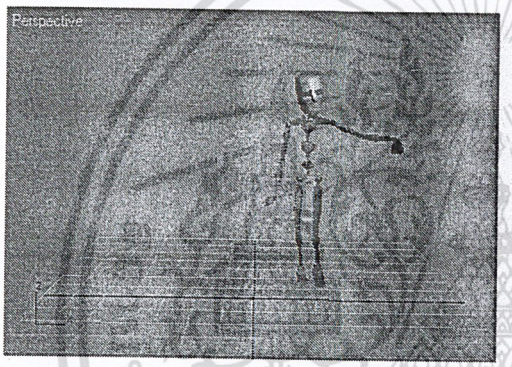
- การเคลื่อนไหวในเฟรมที่ 119



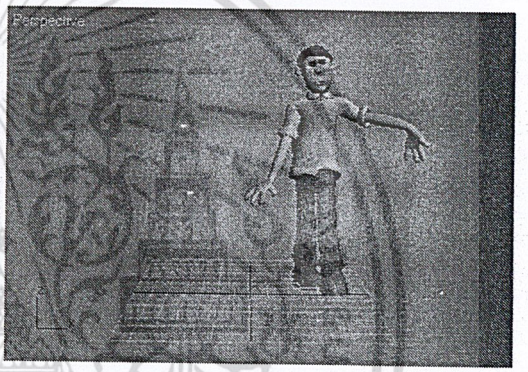
(ก)



(ข)



(ค)

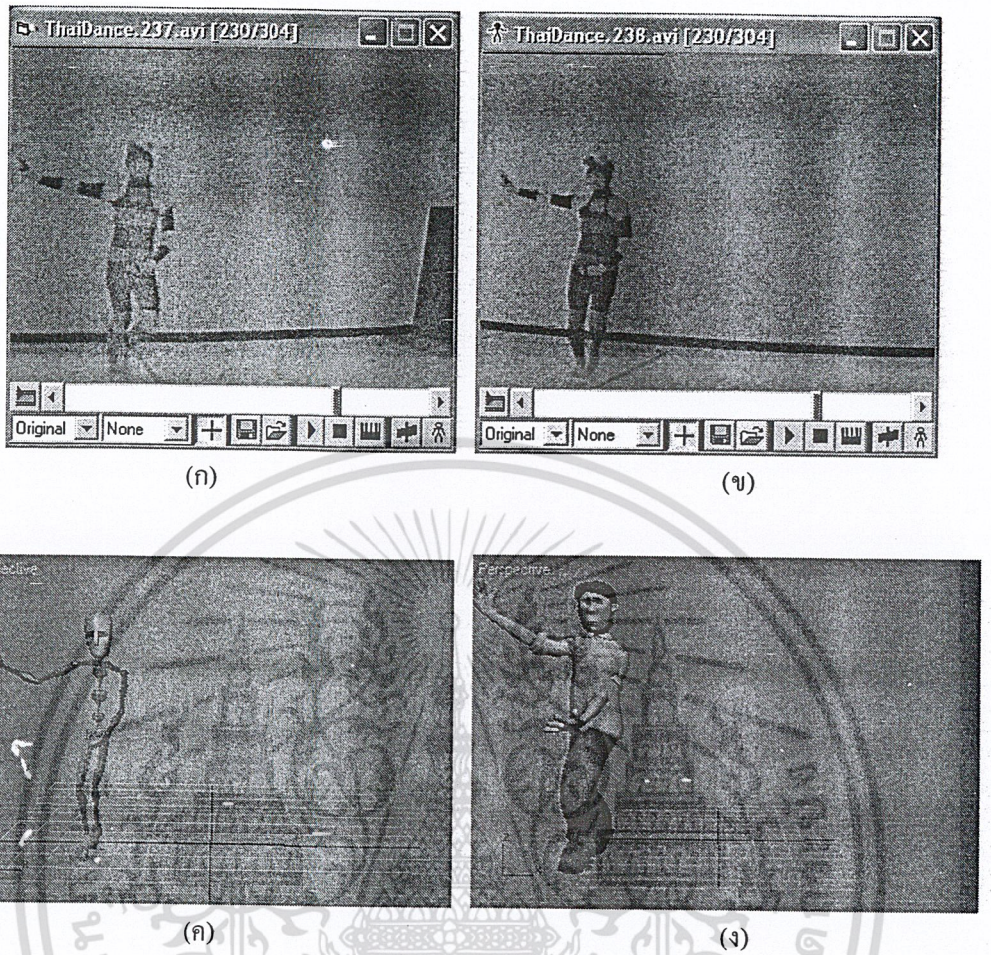


(ง)

รูปที่ 9.30 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 119
(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 119
(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป
(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเคลื่อนไหวในเฟรมที่ 230



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 9.31 (ก) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านซ้ายที่เฟรม 230
(ข) ภาพการเคลื่อนไหวจริงจากกล้องด้านขวาที่เฟรม 230
(ค) ภาพการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกสำเร็จรูป
(ง) ภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้ยึดเข้ากับโครงกระดูกแล้ว

จากรูปที่ 9.28 ถึงรูปที่ 9.31 จะเห็นได้ว่าสามารถสร้างท่าทางการเคลื่อนไหวของตัวละครให้มีการเคลื่อนไหวเหมือนกับการเคลื่อนไหวจริงของนักแสดงได้ หลังจากนำไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้บันทึกไว้ใส่ให้แก่โครงกระดูกสำเร็จรูป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติไปใช้งานเพื่อสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละครได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10
บทวิจารณ์และสรุป

10.1 ประเมินผล

สำหรับโครงงานระบบจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ (3D Character Animation) นี้นั้น การออกแบบของระบบจะเน้นในส่วนของการใช้งานให้สามารถใช้งานได้สะดวก ติดตั้งอุปกรณ์ได้ง่าย ใช้เวลาไม่มาก และมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง โดยสามารถสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร โดยใช้จุดข้อต่อที่สำคัญของร่างกายจำนวนหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้กล้องวิดีโอเพียง 2 ตัว ทำให้เกิดข้อจำกัดในการมองเห็น หรือมุมมองที่ใช้ในการติดตามสังเกตจุดมาร์กเกอร์ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องของการเกิดการบดบังของมาร์กเกอร์ (Occlusion) ตามมา ซึ่งจะทำให้การประมวลผลหยุดชะงักได้ แต่ได้มีการออกแบบโปรแกรมให้สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องของการบดบัง โดยได้ออกแบบระบบให้มีความสามารถแก้ไขโดยการทำนายตำแหน่งการเคลื่อนไหว และการจดจำตำแหน่งของมาร์กเกอร์แต่ละจุดในช่วงเวลาหนึ่งๆ แต่อย่างไรก็ตาม หากโปรแกรมไม่สามารถตรวจจับและติดตามการเคลื่อนไหวของจุดมาร์กเกอร์ได้ เนื่องจากมีการหายไปของจุดมาร์กเกอร์ซึ่งเกิดจากการที่จุดมาร์กเกอร์ถูกบดบังเป็นเวลานานๆ ก็จำเป็นที่จะต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้แก้ไขปัญหาเรื่องตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์เองในที่สุด

10.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

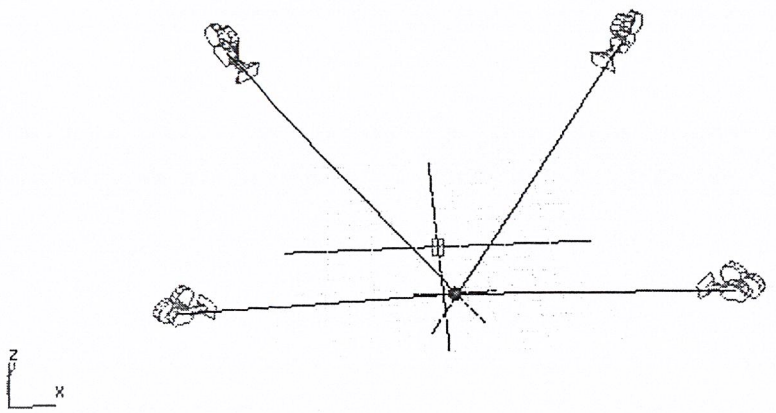
สำหรับโครงงานนี้นั้นยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ดีขึ้น ดังต่อไปนี้

10.2.1 การหาตำแหน่งข้อต่อจากภาพ

โครงงานนี้ใช้การคำนวณที่เรียกว่า Stereopsis โดยใช้ภาพจำนวน 2 ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอซึ่งวางในตำแหน่งต่างกัน มาคำนวณ ซึ่งมีข้อจำกัดในการวางกล้องให้มีลักษณะตรง ไม่แหงนขึ้นหรือก้มลง เพราะการคำนวณจะเริ่มคำนวณหาจุดตัดของเส้นตรงในระนาบ 2 มิติก่อน (แกน XY) แล้วจึงหามิติที่สาม (แกน Z) ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการตรวจจับ ดังนั้นการพัฒนาสมการการคำนวณให้สามารถวางกล้องในตำแหน่งและมุมใดๆ ได้อย่างอิสระนั้น จะช่วยทำให้ใช้พื้นที่ลดลง และยังสามารถได้มุมมองที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถมองเห็นมาร์กเกอร์ได้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อไปหากจะพัฒนาด้วยการเพิ่มจำนวนกล้อง

นอกจากวิธีข้างต้น ยังสามารถพัฒนาให้มีความสามารถยิ่งขึ้นโดยการหาตำแหน่งจากภาพจากกล้องหลายๆ ตัว ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในระบบที่ใช้งานในทางธุรกิจ โดยจะต้องทราบตำแหน่งของกล้องแต่ละตัวในปริภูมิ จากนั้นตรวจหาจุดบนกล้องแต่ละตัว แล้วทำ Ray Tracing กลับไปจาก Ray Tracing จากกล้องหลายๆ ตัว หากเป็นจุดเดียวกันแล้วเส้นเหล่านั้นจะตัดกันที่จุดๆ หนึ่ง ทำให้เราสามารถหาตำแหน่งของข้อต่อนั้นได้ และยังสามารถใช้กับระบบที่ใช้กล้องหลายๆ ตัวได้ ต่างจาก Stereopsis ที่ใช้ภาพจากกล้องเพียง 2 ตัวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.1 แสดงการหาตำแหน่งจุดโดยการทำ Inverse Ray Tracing

10.2.2 การเพิ่มจำนวนกล้อง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระบบมีข้อจำกัดคือ จะไม่สามารถตรวจจับได้หากมาร์กเกอร์ถูกบดบัง ซึ่งการถูกบดบังก็เนื่องมาจากกล้องไม่สามารถถ่ายให้เห็นมาร์กเกอร์ ณ ตำแหน่งนั้นได้ ดังนั้น การเพิ่มจำนวนกล้องจะช่วยทำให้สามารถทำให้เห็นมาร์กเกอร์ได้ในหลายมุมมากขึ้น ส่งผลให้มาร์กเกอร์ลดการถูกบดบังลง และการที่มาร์กเกอร์ถูกบดบังลดลง ยังช่วยส่งเสริมการทำให้ระบบสามารถทำงานแบบ Realtime ได้ด้วย สำหรับการใช้งานในระบบที่ใช้ในเชิงธุรกิจ พบว่าจำนวนกล้องที่ใช้มักมีประมาณ 8 ถึง 10 ตัวขึ้นไป ติดตั้งในมุมมองรอบตัวผู้แสดง ทั้งมุมจากด้านบนและด้านล่าง จึงสามารถทำงานได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ตามก็จะยังมีการถูกบดบังอยู่ได้บ้าง

สำหรับในระบบที่ใช้กล้องหลายๆ ตัวควรเริ่มจากจำนวน 4 ตัว เพราะถึงแม้ว่ากล้อง 3 ตัวจะเป็นจำนวนกล้องน้อยที่สุดที่ทำให้มองเห็นผู้แสดงได้รอบตัวแล้วก็ตาม แต่เราต้องการกล้องอย่างน้อย 2 ตัวที่เห็นมาร์กเกอร์หนึ่งๆ พร้อมกัน จึงจะหาตำแหน่งได้ ดังนั้นจึงควรใช้กล้องเริ่มตั้งแต่ 4 ตัวขึ้นไป

10.2.3 การแยกแยะมาร์กเกอร์แต่ละจุด

ในการตรวจจับในโครงงานนั้น จะเป็นการตรวจจับและแยะแยะโดยการติดตามมาร์กเกอร์แต่ละตัว เมื่อใดที่ไม่สามารถติดตามได้ก็จะทำให้ไม่สามารถทำงานต่อได้ ดังนั้นการแยกแยะตำแหน่งของข้อต่อได้เองโดยไม่ใช้สีหรืออุปกรณ์ช่วยจะเป็นทางที่ดี โดยจำเป็นต้องอาศัยตำแหน่งจุดต่างๆ จำนวนหนึ่งจากนั้นต้องหาให้ได้ว่าส่วนใดเป็นส่วนไหนของร่างกาย โดยเฉพาะในระบบแบบ Realtime ที่ต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่าจะมีมาร์กเกอร์ใดถูกบดบังไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2.4 การสร้างการเคลื่อนไหวโดยใช้โครงกระดูก

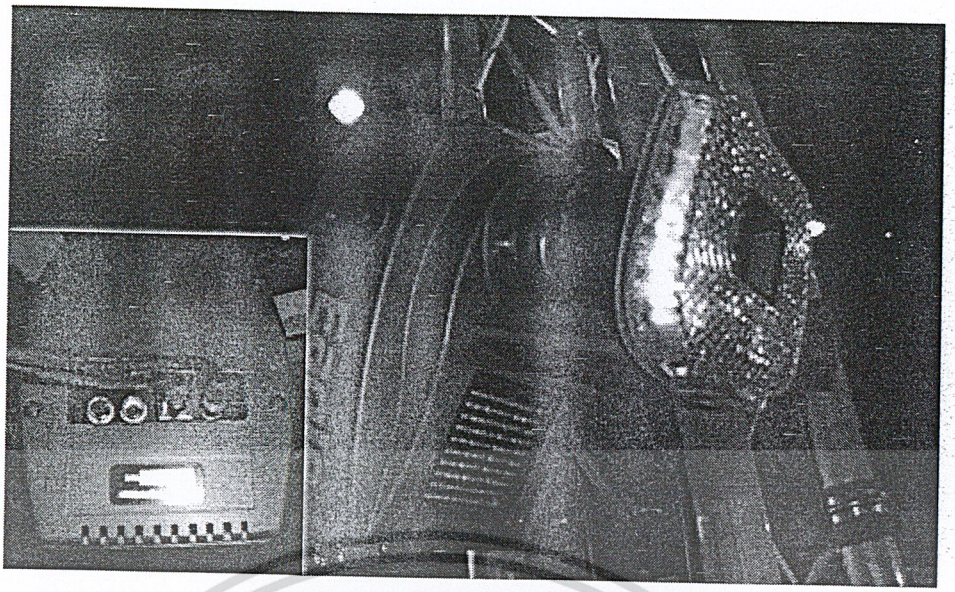
ในการตรวจจับในโครงงานนั้น จะเป็นการตรวจจับจุดแต่ละจุดแยกออกจากกัน ทำให้เวลานำไปสร้างการเคลื่อนไหวจริงๆ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นบ้าง เช่น การเคลื่อนไหวที่ไม่สมจริง ทั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ของจุดแต่ละจุด และการตรวจจับที่ต้องการแปลงจุดที่ตรวจจับได้ไปเป็นจุดตามมาตรฐานไฟล์ CSM นั้นทำให้เกิดข้อจำกัด เพราะไฟล์ CSM กำหนดจุดมาตรฐานไว้จำกัดจำนวนและตำแหน่ง ทำให้เราต้องใช้มาร์กเกอร์ซึ่งวางในตำแหน่งแบบเดียวกัน ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับการตรวจจับ ดังนั้นในระบบส่วนมากมักจะแยกส่วนที่ตรวจจับได้กับส่วนที่จะไปสร้างเป็นไฟล์ออกจากกัน โดยใช้โครงกระดูกเพื่อคำนวณการเคลื่อนไหว

โครงกระดูกนั้นจะทำหน้าที่ในการรับค่าจุดหลายๆ จุดที่ตรวจจับได้มาสร้างการเคลื่อนไหว โดยมีการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างจุด ข้อต่อ ทำให้การเคลื่อนไหวนั้นสมจริงและถูกต้องมากขึ้น ประกอบกับเราสามารถเพิ่มการปรับปรุงจุดหรือข้อกำหนดบางอย่างในการเคลื่อนที่ได้ในขั้นตอนนี้ จากนั้นจึงเอาการเคลื่อนไหวของโครงกระดูกนี้ไปสร้างเป็นไฟล์เพื่อไปใช้งานต่อไป ซึ่งไฟล์ที่เหมาะสมและเป็นที่นิยมใช้จะเป็นไฟล์แบบ BVH (Biovision Hierarchy) ซึ่งจะบันทึกการเคลื่อนไหวแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อต่างๆ แทนที่จะบันทึกตำแหน่งแต่ละจุดแยกกันแบบ CSM และไฟล์แบบ BVH ยังสามารถนำไปใช้กับโปรแกรมสร้างการเคลื่อนไหวได้มากกว่า เพราะเป็นมาตรฐานและเป็นที่นิยมใช้งาน

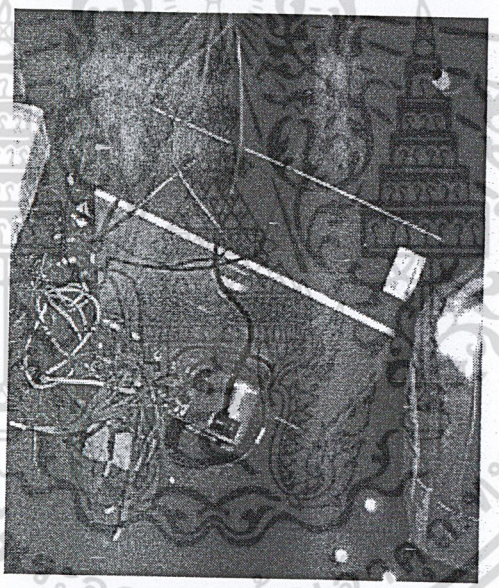
10.2.5 การทำงานแบบรีลไทม์

ในการพัฒนาแบบรีลไทม์นั้นจำเป็นต้องอาศัยส่วนประกอบต่างๆ จำนวนมากเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ อุปกรณ์จับภาพที่ต้องมีความรวดเร็วในการจับภาพ การประมวลผล และการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งออกมา ที่ต้องทำให้ได้รวดเร็วเพียงพอที่จะตรวจจับอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในระบบจริงนั้นจะใช้การตรวจจับที่ฮาร์ดแวร์ โดยการใช้กล้องพิเศษที่สามารถประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของจุดมาร์กเกอร์บนภาพแต่ละจุดได้ จากนั้นข้อมูลตำแหน่งจากกล้องแต่ละกล้องจะถูกส่งไปรวมกันที่อุปกรณ์อีกชุด ผ่านระบบเครือข่ายความเร็วสูงขนาด Gigabit เพื่อทำการคำนวณหาตำแหน่งจริงและแยกแยะจุดแต่ละจุด จากนั้นอุปกรณ์ชุดนี้จะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อนำจุดต่างๆ ไปสร้างการเคลื่อนไหวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.2 ตัวอย่างกล้องที่ใช้ในการตรวจจับภาพ



รูปที่ 10.3 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่รับค่าจากกล้องและต่อกับคอมพิวเตอร์

นอกจากอุปกรณ์ที่ต้องมีความรวดเร็วแล้ว ยังต้องเป็นระบบที่สามารถใช้กล้องได้หลายๆ ตัว เพื่อลดโอกาสการถูดบดบังของมาร์กเกอร์ มีระบบการแยกแยะมาร์กเกอร์แต่ละจุด มีระบบการคำนวณโครงกระดูกเพื่อสร้างการเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ แต่ในการพัฒนาเบื้องต้นอาจจะมีเพียงบางส่วนก่อนก็ได้ แต่จะทำให้การตรวจจับไม่สมบูรณ์ คืออาจตรวจจับท่าทางได้จำกัด อาจมีการบดบังของมาร์กเกอร์บ้าง เป็นต้น หรือการพัฒนาการตรวจจับเพียงบางส่วนของร่างกายก็จะช่วยให้ขอบเขตการพัฒนาแคบลงได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Alberto Menache (2000) : "Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games", Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco. 2000.

[2] David A. Forsyth and Jean Ponce (2003) : "Computer Vision : A Modern Approach Low Price Edition", Pearson Education (Singapore) Pte.Ltd., Delhi. 2003.

[3] Mark D. Pesce (2003) : "Programming Microsoft Directshow For Digital Video and Television", Microsoft Press, Washington. 2003.

[4] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods (2002) : "Digital Image Processing Second Edition", Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 2002.

[5] กฤษฎา สวัสดี และ ภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา : "โปรแกรมจับรูปแบบการเคลื่อนไหว", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

[6] ปิยะบุตร สุทธิดารา (2547) : "3ds Max 6 Basic", บริษัท ด่านสุทธากาพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ. 2547.

[7] พูนศักดิ์ ธนพันธ์พาณิช (2547) : "Character Studio", สำนักพิมพ์ เอส.พี.ซี. บุ๊คส์, กรุงเทพฯ. 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้