Academic Journal of Phetchaburi Rajabhat University
Vol.7 No.2 July-December 2017

การประมวลผลภาพ 3 มิติเพื่อตรวจจับการหกล้มภายในบ้านของผู้สูงอายุ

3D Image Processing for Indoor Fall Detection of Elderly

สุพัตรา วะยะลุน [1*]
Suphatra Wayalun [1*]

บทคัดย่อ

การพลัดตกหกล้มเป็นปัญหาสำคัญทางด้านสาธารณสุขในผู้สูงอายุ เนื่องจากอุบัติการณ์ที่เพิ่มสูงขึ้นและผลกระทบที่ตามมา นอกจากจะส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บทางร่างกายแล้วยังสามารถส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยและสูญเสียชีวิตในที่สุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ 3 มิติเพื่อตรวจจับการหกล้มภายในบ้านของผู้สูงอายุซึ่งไม่ต้องสวมใส่อุปกรณ์ใด ๆ ให้เกิดความรำคาญ การพัฒนาระบบการตรวจจับการล้มในรูปแบบการวิเคราะห์ผลจากภาพจะระบุสถานะของการล้มได้เมื่อผู้สูงอายุล้มลงไปที่พื้น จากการทบทวนวรรณกรรม สามารถวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ บนร่างกายได้ถึง 20 จุดโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมใด ๆ และนอกจากนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่รองรับการตรวจจับการเคลื่อนไหว เสียงและท่าทาง ดังนั้นผู้พัฒนาเทคโนโลยีการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุควรศึกษาฟังก์ชั่นของกล้องไคเนคต์ การพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านค่าจากการประมวลผลภาพ การจำลองสถานการณ์การล้มเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมหลากหลายรูปแบบเพื่อรองรับกับลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกาย ลักษณะการล้ม วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล การตรวจจับการเคลื่อนไหวและระบุตำแหน่งของกล้องไคเนคต์ วิธีการรู้จำท่าทางมนุษย์แบบ 2 มิติและ 3 มิติ จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์และเทคนิควิธีการวัดประสิทธิภาพ เป็นต้น

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ 3 มิติ การตรวจจับการหกล้ม ผู้สูงอายุ

Abstract

The Falls are important problem for elderly health public. The incidence rate is rising and subsequent. The results in physical injuries also cause illness and death. The purpose of this research is review theories and related researches in 3D Image Processing for Indoor Fall Detection of Elderly. The elderly can live independently. The developing systems to detect wind in the form of image analysis to identify the presence of the elders fell down on the floor. The review literature can be analyzed body parts up to 20 points without installing any accessories and also compatible devices to detect motion, voice and gesture. Therefore, the technology of fall detection development for elderly should be a Kinect sensor's function. The developing programs for read form the image processing, simulation fall to algorithms for variety of models with the movement of the body, falling to digital image processing characterized, motion detection and identification of Kinect sensor. The 2 dimensional and 3 dimension human gestures recognition. The mass center of the human body and measure performance techniques and so on.

Keywords: 3D Image Processing, Fall Detection, Elderly

[1] อาจารย์ ปร.ด. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000
[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ : 085-6824711 อีเมล : bc2011com@gmail.com
[1] Lecturer D.P.A.(Industrial Technology) Faculty of Industrial Technology Surin University, Muang District, Surin Province 32000
[*] Corresponding Author Tel. : 085-6824711 e-mail : bc2011com@gmail.com

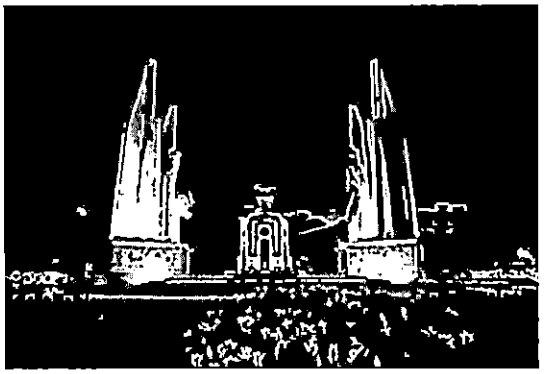
บทนำ

การหกล้มในผู้สูงอายุเป็นปัญหาสาธารณสุขที่นับวันจะเพิ่มขึ้นทั่วโลกเนื่องจากจำนวนและอายุขัยของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น สำหรับประเทศไทยในการสำรวจสุขภาพประชากรไทยโดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2551 - 2552 ของสำนักงานสำรวจสุขภาพประชากรไทย พบว่า ผู้สูงอายุหกล้ม ร้อยละ18.5 โดยผู้สูงอายุหญิงหกล้มสูงกว่าผู้สูงอายุชายเกือบ 1 เท่าตัวผู้สูงอายุครึ่งหนึ่งหกล้มนอกบริเวณบ้านเป็นผู้สูงอายุชายมากกว่าผู้สูงอายุหญิง รองลงมาหกล้มภายในบ้านเป็นผู้สูงอายุหญิงมากกว่าผู้สูงอายุชาย เมื่อพิจารณาสถานที่หกล้มตามกลุ่มอายุพบว่า ผู้สูงอายุ 60 - 69 ปี หกล้มนอกตัวบ้านสูงกว่าทุกกลุ่มอายุทั้งชายและหญิง ส่วนผู้สูงอายุ 80 ปีขึ้นไป หกล้มในบริเวณบ้านสูงกว่าทุกกลุ่มอายุทั้งชายและหญิง สาเหตุของการหกล้มลำดับแรกคือ การลื่นทั้งผู้สูงอายุหญิงและชาย ส่วนสาเหตุรองลงมาของการหกล้มของผู้สูงอายุชาย ได้แก่ การสะดุดสิ่งกีดขวาง ร้อยละ 38.8 และการเสียการทรงตัว ร้อยละ 32.1ส่วนสาเหตุของการหกล้มในผู้สูงอายุหญิงเพราะเสียการทรงตัว ร้อยละ 37.0 และสะดุดสิ่งกีดขวาง ร้อยละ 32.1 [1]

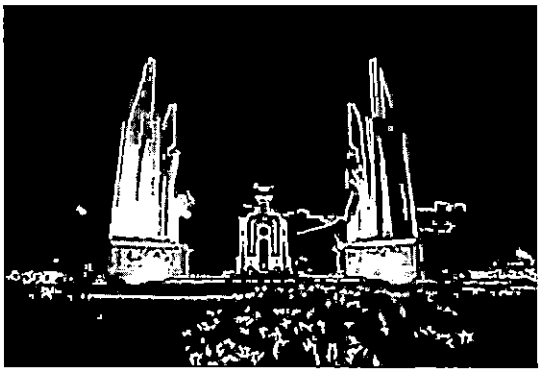
ในปี 2555 "Shell Point Retirement Community" ซึ่งเป็นองค์กรไม่แสวงกำไรแห่งหนึ่งของสหรัฐที่ทำงานเกี่ยวกับผู้สูงอายุ ได้รายงานปัญหาที่เกี่ยวกับการหกล้มของผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้สูงอายุต้องนอนโรงพยาบาลนานขึ้นเป็น 2 เท่าของการเข้าโรงพยาบาลเพื่อรักษาตัวด้วยเหตุผลอื่น ๆ ของผู้สูงอายุ การหกล้มเป็นสาเหตุสำคัญที่นำไปสู่การเสียชีวิตของผู้สูงอายุอเมริกันที่อายุ 65 ปี ขึ้นไป โดยจากข้อมูลการเสียชีวิตของผู้สูงอายุอเมริกันในแต่ละปี พบว่าอย่างน้อยประมาณปีละ 9,500 ราย ที่มีข้อมูลว่าเกี่ยวข้องกับปัญหาการหกล้มก่อนที่จะเสียชีวิต นอกจากนี้การหกล้มที่เป็นเหตุนำไปสู่การเสียชีวิตเกินครึ่งเกิดขึ้นในคนที่อายุ 75 ปีขึ้นไป ส่วนผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 65-69 ปีเมื่อเกิดการหกล้มจะพบปัญหากระดูกสะโพกหักได้ถึง 1 ใน 200 รายและจะพบปัญหานี้มากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในผู้สูงอายุ 85 ปี ขึ้นไป จะพบปัญหากระดูกสะโพกหักได้สูงถึง 1 ใน 10 ราย และ 1 ใน 4 ของผู้สูงอายุที่เกิดปัญหากระดูกสะโพกหักจากการหกล้มจะเสียชีวิตภายใน 6 เดือนหลังจากการหกล้ม แม้จะไม่เสียชีวิต แต่ปัญหาใหญ่ที่ผู้สูงอายุเหล่านี้ต้องเผชิญก็คือ การไม่สามารถใช้ชีวิตตามปรกติได้อีกต่อไปและกลายเป็นภาระต่อผู้ดูแล [2] ในปัจจุบันมีการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีการดูแลตนเองของผู้ป่วยสูงอายุ ทั้งทางด้านการแพทย์และสาธารณสุข เพื่อสร้างนวัตกรรมสำหรับการป้องกันความปลอดภัยที่จะเกิดขึ้นจากการหกล้มของผู้สูงอายุอย่างมากมาย โดยบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาทฤษฎีวิธีการประมวลผลภาพ 3 มิติเพื่อตรวจจับสัญญาณการหกล้มภายในบ้านของผู้สูงอายุ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพเป็นขบวนการหรือขั้นตอนที่ทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะภายในของภาพ เช่น เปลี่ยนพื้นหลังของภาพให้เป็นสีดำหรือปรับแสงภาพถ่ายให้สว่างหรือมืดขึ้น เป็นต้น การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) เป็นขบวนการที่ทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะภายในของภาพถ่าย 2 มิติ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้มนุษย์สามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนสวยงาม หรือตีความข้อมูลภายในภาพได้ง่ายและดีขึ้นและเพื่อเปลี่ยนแปลงภาพให้เหมาะสมต่อการประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างการปรับปรุงภาพเพื่อการมองเห็นของมนุษย์ได้แก่ ขบวนการลดสัญญาณรบกวนซึ่งอาจทำให้สัญญาณภาพบางส่วนขาดหาย เอียงหรือผิดเพี้ยน ซึ่งอาจเกิดจากการสแกนภาพนั่นเองดังรูปที่ 1 และปรับปรุงภาพด้วยขบวนการกรองภาพให้น้อยลงไปในรูปที่ 2



ภาพที่ 1 ภาพจากการสแกนที่มีความผิดเพี้ยน



ภาพที่ 2 ปรับปรุงภาพด้วยขบวนการกรองภาพ

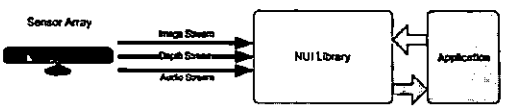
จากที่กล่าวมาข้างต้นการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงธรรมชาติของภาพเชิงตัวเลข (Digital Image) ดังนั้น การประมวลผลภาพถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบปัญหาหลัก ๆ เช่น การทำดิจิไทซ์และการเข้ารหัสข้อมูลภาพเพื่อการส่งการพิมพ์ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น การเพิ่มความคมชัดให้กับของของวัตถุในภาพทำให้ภาพดูสว่างมากขึ้นดังรูปที่ 2 และการกำหนดสัญญาณรบกวนเมื่อนำภาพไปผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน เพื่อให้ภาพมีความสมบูรณ์ [3]

ทฤษฎีการตรวจจับการเคลื่อนไหวและระบุตำแหน่งของกล้องไคเน็กต์ (Kinect)

กล้องไคเนคต์ (Kinect) เป็นอุปกรณ์ด้านความบันเทิงใช้งานร่วมกับเครื่องเล่นเกม Xbox 360 มีความสามารถในการตรวจจับร่างกาย และเสียงของผู้ใช้ โดยระยะแรกอุปกรณ์ดังกล่าวถูกพัฒนาเพื่อใช้งานในด้านเกมเป็นหลัก ต่อมาได้ถูกพัฒนาให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์บันเทิงอื่น ๆ เช่นควบคุมการเล่นภาพยนตร์ด้วยการเคลื่อนไหวร่างกายหรือเสียง ทั้งนี้กล้อง Kinect จะรับภาพจากผู้ใช้โดยการอาศัยอุปกรณ์สำคัญสามตัว คือ Infra-red (IR) Projector, IR Camera และ RGB Camera ทำให้สามารถจำแนกจุดบนร่างกายของมนุษย์ โดยอาศัยหลักความลึกของภาพ (Depth-based Imaging) ส่งผลให้สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยปราศจากการทำเครื่องหมายบนส่วนต่าง ๆ บนร่างกาย (Markerless Tracking) โดยไม่ได้ทำเครื่องหมายใด ๆ บนร่างกาย ดังรูปที่ 3

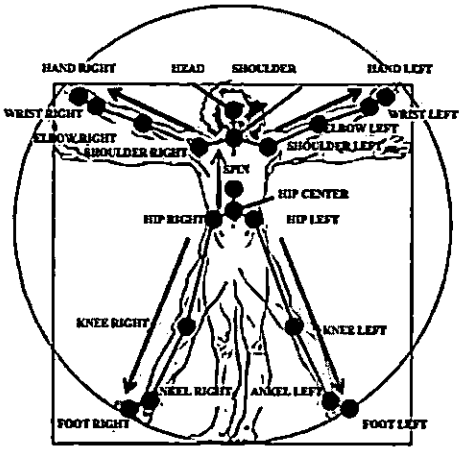
ภาพที่ 3 กล้อง Kinect
ที่มา : Microsoft Xbox [4]

Kinect Sensor คือ เซ็นเซอร์ ที่มีลักษณะเป็นแบบอาร์เรย์ และมีการติดต่อกับแอปพลิเคชันผ่านทาง NUI Library ซึ่งข้อมูลที่ไคเนคต์เซ็นเซอร์ ป้อนให้ มีสามชนิดด้วยกัน ได้แก่ เซ็นเซอร์จับภาพ (Image Stream) เซ็นเซอร์ตรวจจับความลึก (Depth Stream) และไมโครโฟน (Audio Stream) ซึ่งมีรูปแบบการติดต่อระหว่าง Kinect sensor และแอปพลิเคชัน ผ่านเอ็นยูไอไลบารี่ ดังรูปที่ 4



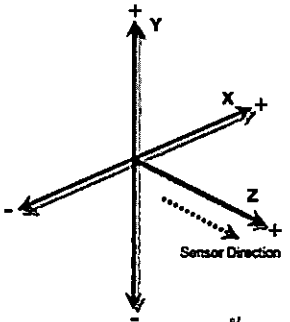
ภาพที่ 4 ติดต่อระหว่าง Kinect sensor and Application
ที่มา : เจาะลึกโครงสร้างของ Kinect สำหรับ Windows ตอนที่ 1 [5]

การตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์จำเป็นต้องมี Library เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ท่าทางและค้นหาส่วนที่เป็นร่างกายมนุษย์ ซึ่ง Kinect for windows SDK สามารถวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ บนร่างกายได้สองโหมดซึ่งประกอบด้วย Seat Mode และ Default Mode โดย Default Mode [6] สามารถค้นหาจุดต่าง ๆ บนร่างกายได้ทั้ง 20 จุด และ seat mode สามารถหาจุดต่าง ๆ บนร่างกายได้ทั้งหมด 10 จุด เฉพาะส่วนของแขนและเหนือไหล่ขึ้นไป [7] ดังรูปที่ 5



ภาพที่ 5 รายละเอียดของจุดต่าง ๆ บนร่างกายที่ถูกวิเคราะห์โดยกล้อง Kinect
ที่มา : Microsoft Developer Network [8]

ข้อมูลตำแหน่งของจุดต่าง ๆ บนร่างกายที่ได้จาก Kinect for Windows SDK Library Function ของกล้อง Kinect นั้นจะอยู่ในพิกัดสามมิติ ซึ่งประกอบด้วยพิกัดในแกน X, Y และ Z โดยแกน X จะเป็นแกนในแนวนอน แกน Y จะเป็นแกนในแนวตั้งซึ่งตัดผ่านจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นจุดกำเนิด (X = Y = 0) และแกน Z เป็นแกนที่ใช้ในการบ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างกล้อง Kinect ไปยังวัตถุ ซึ่งจุดกำเนิดนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ตรงหน้ากล้อง Kinect ค่าในแนวแกน X จะเป็นค่าที่บอกระยะห่างจากจุดกำเนิดในแนวนอน ซึ่งค่าในแนวแกน X จะมีค่าเป็นบวกก็ต่อเมื่อค่าในจุดนั้นอยู่ด้านขวาของแกน Y และค่าในแกน Y นั้นจะมีค่าเป็นบวกก็ต่อเมื่อค่าอยู่เหนือแกน X ขึ้นไป ส่วนในแนวแกน Z จะมีค่าเป็นบวกเสมอซึ่งหากจุดของวัตถุนั้นออกห่างจากกล้องมากขึ้นจะทำให้ค่าในแนวแกน Z นั้นค่อย ๆ มีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งทิศทางของแกน X Y และ Z ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6



ภาพที่ 6 แกน X Y และ Z ของกล้อง Kinect
ที่มา : Microsoft Developer Network [8]

ระยะห่างของกล้องไปยังร่างกายมนุษย์ที่เหมาะสมในการทางานของ Kinect for Windows SDK Library Function คือ ช่วงระยะระหว่าง 1.8-3.0 เมตร แม้ว่า Kinect for Windows SDK Library Function นั้นจะมีความสามารถในการแยกแยะส่วนที่เป็นร่างกายคนออกจากพื้นหลังที่มีความซับซ้อนและสามารถวิเคราะห์หาจุดต่าง ๆ บนร่างกายได้

วิธีการรู้จำท่าทางมนุษย์

วิธีการรู้จำท่าทางของมนุษย์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท [9] ดังนี้

1.วิธีการรู้จำจากภาพสองมิติ (2D Appearance-based Methods) แบ่งตัวแบบออกเป็นประเภทที่เป็นวิธีการรู้จำแบบตรง โดยเริ่มต้นด้วยการตรวจหาส่วนที่เป็นร่างกายมนุษย์ในภาพ และหาองค์ประกอบหลักของร่างกายมนุษย์ซึ่งได้แก่ ส่วนที่เป็นศีรษะมือและเท้าจากนั้นจึงทำการตรวจหาส่วนของร่างกายที่เป็นองค์ประกอบรองคือส่วนที่เป็นข้อต่อได้แก่ หัวไหล่ ข้อศอก

และหัวเข่า จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์โดยการวิเคราะห์เส้นขอบของภาพร่างกายมนุษย์ที่ได้ มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย แต่มีข้อเสียคือหากมีการแยกส่วนของร่างกายผิดจะทำให้เกิดการรู้จำที่ผิดพลาดตามไปด้วย ตัวแบบประเภทที่สองเป็นวิธีการรู้จำเชิงสถิติ โดยการคำนวณค่าโปรเจกชันแนวตั้งและแนวนอนจากภาพท่าทางของมนุษย์เพื่อใช้หาท่าทางหลัก (ท่ายืน ท่านั่ง ท่าก้มตัวคลาน และท่านอน) และใช้พิจารณาหาทิศทางของร่างกายว่าเป็นมุมมองที่หันด้านใด (ด้านหน้า ด้านซ้าย หรือด้านขวา) ซึ่งการรู้จำท่าทางของมนุษย์นั้นจะทำการคำนวณค่าโปรเจกชันของท่าทางมนุษย์ในภาพปัจจุบันเทียบกับค่าโปรเจกชันของท่าทางมนุษย์ในชุดภาพที่นิยามไว้ก่อนหน้า จากนั้นจึงทำการหาส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยวิเคราะห์จากเส้นขอบของภาพท่าทางมนุษย์ วิธีนี้มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย ข้อเสียคือ ผลที่ได้ขึ้นอยู่กับมุมมองของภาพ

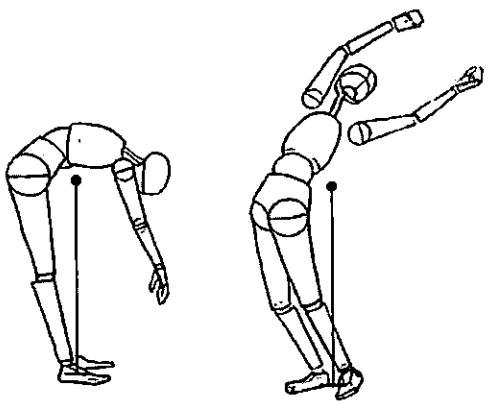
2. วิธีการรู้จำจากภาพสามมิติ (3D Appearance -based Methods) แบบจำลองสามมิติถูกสร้างขึ้นจากวัตถุทรงเรขาคณิตรูปทรงต่าง ๆ เช่น วัตถุทรงกระบอก ทรงกลม หรือรูปกรวย โดยแบบจำลองนี้ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทรงเรขาคณิตที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ แบ่งตัวแบบ

1. วิธีการรู้จำจากภาพสามมิติที่ใช้กล้องตัวเดียว ทำได้โดยวิธีการรู้จำแบบตรงซึ่งเป็นแบบจำลองที่เกิดจากการเชื่อมต่อของรูปทรงเรขาสามมิติชนิดต่าง ๆ โดยจะต้องที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างนั้น ๆ ก่อน หรืออีกวิธีหนึ่งคือโดยวิธีการรู้จำแบบใช้วิธีการเรียนรู้ควบคู่ไปด้วย วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองสามมิติเหมือนแบบตรง แต่จะทำการเก็บภาพท่าทางสามมิติไว้ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อใช้การเปรียบเทียบ ข้อดีคือ ผลที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับมุมมองของภาพ ข้อเสียคือ ใช้เวลาในการประมวลผลมาก และจำเป็นต้องมีฐานข้อมูลที่สามารถเก็บรายละเอียดข้อมูลได้ครบถ้วน

2. วิธีการรู้จำจากภาพสามมิติที่ใช้กล้องหลายตัว สามารถรู้จำท่าทางของมนุษย์ได้ในกรณีที่ภาพอาจถูกบังเป็นบางส่วน เช่น มีเฉพาะร่างกายส่วนบนในภาพ เป็นต้น ทำได้โดยวิธีการรู้จำโดยใช้แบบจำลองซึ่งจะทำการสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติขึ้นพร้อมทั้งคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการรู้จำแบบใช้การเรียนรู้ ซึ่งจะทำการเรียนรู้จากภาพท่าทางของมนุษย์ที่ทำการเรียนรู้และทราบก่อนหน้าแล้ว ข้อดีคือ ผลที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับมุมมองของภาพ ข้อเสียคือ ใช้เวลาในการประมวลผลมาก [6]

จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์

จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์ (Center of Mass of a Human Body) (Arthur Chapman. 2008) ใช้หลักการเดียวกันกับจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง (Center of gravity) ที่สามารถบ่งบอกได้ถึงความสมดุลของวัตถุได้ โดยที่จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์ขึ้นอยู่กับท่าทางของมนุษย์ที่แสดงออก ณ ขณะนั้น ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่มีการยืนตรงจะทำให้จุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ภายในร่างกายบริเวณเหนือท้องขึ้นมาเล็กน้อย แต่ถ้าหากในสถานการณ์ที่ร่างกายมีการโน้มเอียงไปยังข้างใดข้างหนึ่งจะมีผลทำให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่บริเวณนอกร่างกาย ดังรูปที่ 7

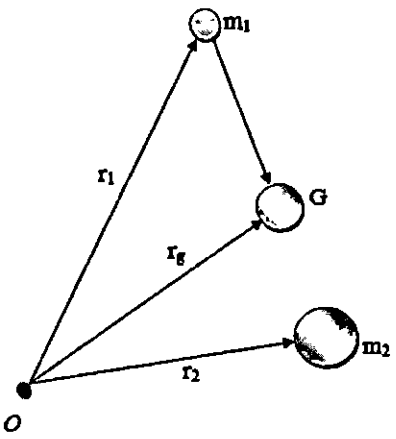


ภาพที่ 7 แสดงจุดศูนย์กลางมวลอยู่ภายในและนอกบริเวณร่างกาย
ที่มา : ฟิสิกส์ครูโชติ [10]

การคำนวณจุดศูนย์กลางของมวลในวัตถุหนึ่งชิ้นนั้นสามารถทำได้แม้ว่าวัตถุนั้นจะมีทิศทางการวางตัวไปในทิศทางใดก็ตาม เนื่องมาจากจุดศูนย์กลางดังกล่าวจะไม่มีการเลื่อนตำแหน่งแม้ว่าวัตถุนั้นจะถูกหมุนไปในทิศใด โดยจุดศูนย์กลางของมวลจะอยู่ที่ $\overrightarrow{rcm}$ ดังสมการนี้

$$\overrightarrow{rcm} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\vec{r_i} m_i}{m_{tot}}$$

โดยที่ r_i คือ ตำแหน่งเวกเตอร์ของมวลที่ i
m_i คือ มวลของวัตถุชิ้นที่ i
m_{tot} คือ ผลรวมของมวลทั้งหมดในระบบ
n คือ จำนวนของจุดมวลทั้งหมดในระบบ



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลระหว่างมวลสองตำแหน่ง

ภาพที่ 8 จะแสดงถึงระบบที่มีมวล 2 ตำแหน่ง ได้แก่ m1 และ m2 โดยที่มวลของ m1 มีขนาดน้อยกว่า m2 จึงทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล G ใกล้ไปทางมวล m2 ที่มีขนาดของมวลที่มากกว่า ในขณะที่เวกเตอร์ r1 และ r2 ต่างเป็นเวกเตอร์ที่มีจุดเริ่มต้นอ้างอิงในเกณฑ์เดียวกันในระบบ

เครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพ

วิธีการวิเคราะห์ความถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จะวัดประสิทธิการของผลการทดลองโดยพิจารณาจากค่า accuracy specificity และ sensitivity [11]โดยค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ (1) - (2) ต่อไปนี้

ค่า Accuracy

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + FN}{TP + TN + EP + FN}$$

ค่า Specificity

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + EP}$$

ค่า Sensitivity

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TPN + FN}$$

โดยที่ TP = True Positive,
TN = True Negative,
FN = False Negative, และ
FP =False Positive

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีการตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนานวัตกรรมสำหรับการพัฒนาได้ดังนี้

ธีรศักดิ์ ขอพุทธพรชัย [12] ได้ศึกษาเรื่องการตรวจจับเหตุการณ์หกล้มของผู้สูงอายุจากกล้องวงจรปิดด้วยการประมวลผลภาพ โดยอาศัยข้อมูลความกว้าง, ความยาว, แกน และความเร็วจากการประมวลผลภาพ ซึ่งมีวิธีการดำเนินงาน 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) ทำการจัดเก็บชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพโดยการจำลองเหตุการณ์หกล้มซึ่งมีลักษณะท่าทางที่ลำตัวพุ่งไปด้านหน้าจากนั้นบริเวณหัวเข่าจะกระแทกกับพื้น ก่อนที่ส่วนของลำตัวจะพุ่งไปตามแรงที่เกิดขึ้น 2) ออกแบบอัลกอริทึม (Algorithmic Design) คือ 1) การเตรียมและปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Pre Processing) โดยนำข้อมูลภาพแบบ RGB มาแปลงเป็น Gray Scale

ก่อนใช้วิธี Background Subtraction โดยใช้เทคนิค Running average with selectivity ดังสมการ

$$Bc+1= \quad AL_t + (1-a)B_t tfF_c background \qquad (1)$$
$$BctfFcforeground$$

$$\left|I_t - B_t\right| > T \qquad (2)$$

และใช้ Morphological Filters เพื่อลด Noise ซึ่งทำได้บ้างบางส่วน 2) การตรวจหาและติดตามความเคลื่อนไหว (Detect & Tracking) บริเวณ Foreground ในพื้นที่ทับซ้อนกันของบริเวณกลุ่มข้อมูลย่อย (Motion Tracking) และติดตามข้อมูลอีกครั้งด้วย Cam Shift Tracking เพื่อคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของสีของภาพและทำการคำนวณผลลัพธ์ของภาพจากคุณลักษณะเด่นของสี (back-projection image) ซึ่งบริเวณที่มีความสว่างมากจะมีความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ทำการติดตามมากที่สุด และได้ทำการตัดส่วนของสีขาวและดำออกเพื่อให้ CamShif สามารถแยกเนื้อแท้ของสีได้ ทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นแต่มีจุดบกพร่องที่ไม่สามารถติดตามสีขาวและดำที่ตัดออกไปได้ และแบ่งส่วนติดตาม 2 ส่วนย่อยเพื่อติดตามคุณลักษณะเด่น ได้แก่ สีเสื้อและสีกางเกง , 3) การดึงและปรับปรุงคุณสมบัติเด่นที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์หกล้มประกอบด้วยความกว้าง, ความยาว, มุม ซึ่งหาได้จากมุมที่น้อยที่สุดระหว่างแกนตั้งของบุคคล และแกนนอนของภาพ (Features Extraction) พบว่ามี Noise จึงทำการลด Noise ด้วยการ Convolution โดยใช้ Low-pass Filters ซึ่งได้ทำการ Design Filter โดยใช้ Butterworth Low-pass Filter โดยมีขนาด 1x7, cut frequency ที่ 2 และ order ที่ 2 ได้ค่าคือ

$$\text{BLPF} \qquad \frac{1}{4.22} x\left\{\frac{1}{6},\frac{1}{2},\frac{1}{1.06},1,\frac{1}{1.06},\frac{1}{2},\frac{1}{6}\right\}$$

และการวิเคราะห์เหตุการณ์หกล้ม (Fall Detection)

ผลการวิจัยพบว่าสามารถตรวจจับเหตุการณ์หกล้มได้ถูกต้อง 66.67% โดยพบว่ามีปัญหาในส่วนของการ Detect & tracking ของบุคคลที่มีคุณลักษณะเด่นไม่ชัดเจน แต่สำหรับบุคคลที่มีคุณลักษณะเด่นชัดเจนจะมีความถูกต้อง 80% ถ้าหากปรับปรุงแก้ไขในส่วนของ Detect & Tracking ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีความคลาดเคลื่อนต่ำแล้วคาดว่าความถูกต้องในการวิเคราะห์เหตุการณ์หกล้มนั้นน่าจะมีมากขึ้น

ธนชัย ศรีใหม่ [13]ได้ศึกษาเรื่องระบบขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนสถานการณ์ล้มของบุคคลสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุ ผลการพัฒนาระบบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนของภาคส่งสัญญาณออก และอุปกรณ์ตรวจสอบสถานการณ์หกล้มจะประกอบด้วยส่วนของการตรวจเช็ค การล้ม การขอความช่วยเหลือและการส่งสัญญาณเครือข่ายซิกบีไปยังภาครับซึ่งอุปกรณ์ ในส่วนนี้จะต้องออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็กที่สุดเพื่อให้ผู้สูงอายุมีความคล่องตัวเวลาเคลื่อนไหว 2) ส่วนภาครับผลบนมือถือ จะประกอบด้วยส่วนของภาครับสัญญาณเครือข่ายซิกบีและส่วนของการส่งข้อความไปยังมือถือ อุปกรณ์ส่วนนี้จะอยู่กับที่และไม่ต้องติดอุปกรณ์นี้กับตัวผู้สูงอายุ โดยมีการประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน คือ 1) ด้าน Functional ($\bar{x}$ = 4.94) ดีมาก 2) ด้าน Usability ($\bar{x}$ = 4.50) ดี 3) ด้าน Performance ($\bar{x}$ = 4.58) ดีมาก ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน ($\bar{x}$ = 4.68) ดีมาก

ประชารัฐ สงัดศัพท์, ชวาล คูร์พิพัฒน์ [14]ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจหาการหกล้มด้วยไคเนคต์ เป้าหมายของงานวิจัยเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถตรวจจับการหกล้มได้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากกล้องไคเนคต์ที่สามารตรวจจับตำแหน่งสามมิติ โดยมีขั้นตอนการวิจัย 4 ขั้นตอนคือ 1) พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้วัดค่าตัวแปรที่จำเป็นในการตรวจจับการหกล้มด้วยภาษา C# โดยใช้ไลบรารี่ Kinect SDK ของบริษัทไมโครซอฟท์โดยบันทึกไว้เป็นไฟล์ได้แก่ ฟิลด์แรกคือ เวลานับตั้งแต่ไคเนคต์เริ่มทำงานหน่วยเป็นไมโครเซกันด์ (msec) ทำหน้าที่เป็นดัชนีของข้อมูล ฟิลด์ที่สอง สาม และ สี่ คือตำแหน่งของข้อต่อในแกน X Y และ Z มีหน่วยเป็นเมตร 2) ตรวจวัดค่าที่ใช้ในการ

ตรวจจับการหกล้มโดยให้อาสาสมัครทำท่าหกล้มบนฟูกและทำท่าทางนั่ง ยืน เดินและบันทึกข้อมูลเอาไว้ในการวิเคราะห์โดยแต่ละคนจะแสดง 3 ท่าทางคือ หันด้านข้างเข้าหากล้องหันหน้าเข้าหา กล้องและเฉียง 45 องศา ส่วนในท่าการใช้ชีวิตประจาวันจะเก็บภาพการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องในท่าทางต่าง ๆ เป็นระยะเวลาประมาณ 1 นาที ระยะห่างระหว่างกล้องกับผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ระหว่างสองถึงสี่เมตร โดยบันทึกเก็บไฟล์เป็นชนิด .xed 3) นำค่าที่บันทึกได้มาพัฒนาอัลกอรึทึมสำหรับการตรวจจับการหกล้มพบว่าความเร็วในแนวแกน Y (ที่ตั้งฉากกับพื้น) ของศีรษะตอนหกล้มนั้น 98.18% มีความเร็ว มากกว่า 2.10 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ 81.25% ของท่าทางในการใช้ชีวิตประจาวันนั้นมีความเร็วสูงสุดไม่เกิน 1.80 เมตรต่อวินาที ดังนั้น เราสามารถกำหนดเงื่อนไขได้ว่าให้โปรแกรมเตือนการหกล้มเมื่อความเร็วของศีรษะในแนวแกน Y มีค่ามากกว่า 2.10 เมตรต่อวินาที 4) ทดสอบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นด้วยการทดลองในภาวะควบคุม โดยมีภาพการหกล้ม 36 ภาพและภาพที่ไม่ใช่การหกล้ม 36 ภาพรวมทั้งสิ้น 72 ภาพ โดยมีอัลกอริทึมมาตรวจจับการหกล้มเพื่อวัดค่าได้แก่ 1) TR คือจำนวนครั้งที่โปรแกรมเตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อมีการหกล้มเกิดขึ้น 2) TN คือจำนวนครั้งที่โปรแกรมไม่เตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อไม่มีการหกล้มเกิดขึ้น 3) FP คือจำนวนครั้งที่โปรแกรมเตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อไม่มีการหกล้มเกิดขึ้น 4) FN คือ จำนวนครั้งที่โปรแกรมไม่เตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อมีการหกล้มเกิดขึ้น

ภูสิต กุลเกษม และคณะ [15] ได้ศึกษาเรื่อง การตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุในห้องพักในบ้านพักคนชรา โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับตรวจจับการล้มชื่อ "กล่องขอบเขตแบบทิศทาง" หรือ Directional Bounding Box (DBB) ที่สามารถตรวจจับการล้มในกรณีที่ทิศทางของการล้มขนานกับมุมมองของกล้องได้เป็นอย่างดีเนื่องจากกล่องขอบเขตถูกสร้างขึ้นให้มีคุณลักษณะเสมือนมองเข้าด้านข้างของทิศทางการล้มในเชิงลึกเสมอ นอกจากนี้ได้มีการนำเสนอค่าอัตราส่วนของจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity Ratio) ที่สามารถนำมาใช้สนับสนุนติดตามการเคลื่อนไหวของการล้มได้โดยทำการทดสอบและประเมินผลกับภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากอุปกรณ์รับภาพที่มีคุณสมบัติแสดงข้อมูลเชิง 3 มิติได้ สำหรับผลการทดสอบมีดังนี้ 1) ความถูกต้องในการจำแนกเหตุการณ์ล้มหรือไม่ล้มพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์มาก สามารถสร้างค่าฟีเจอร์ที่สอดคล้องกับการตรวจจับการล้มได้ในมุมมองจริง 2) ผลการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาที่ใช้ในการตอบสนองมีค่าน้อยกว่ากล่องขอบเขตแบบสามมิติเนื่องจากในขณะที่มีการล้มเกิดขึ้นนั้นลักษณะท่าทางของผู้ล้มมีผลต่อค่าฟีเจอร์หลักที่ใช้พิจารณา 3) ผลการทดสอบด้านเวลาที่ใช้ในการตอบสนองต่อการล้มที่เกิดจากผลกระทบจากการแกว่งแขนหรือการก้าวเดินสามารถทำงานได้แบบ Real time ที่สามารถทำการวิเคราะห์การล้มรวดเร็วโดยที่ไม่จำเป็นต้องมีการปรับกรองค่าสัญญาณข้อมูลซึ่งอาจมีผลทำให้ความเร็วในการตอบสนองลดลงไปได้และให้ค่าฟีเจอร์ที่มีคุณสมบัติสำหรับใช้ในการพิจารณาเหตุการณ์ของการล้มได้เป็นอย่างดีซึ่งสามารถทำการแจ้งเตือนได้แม้ว่าร่างกายของมนุษย์ยังไม่ได้ล้มลงบนพื้นโดยสมบูรณ์รวมทั้งการแกว่งแขนหรือก้าวเดินระหว่างการล้ม

Peng Shen Ong และคณะฯ [16] นำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มที่มีประสิทธิภาพที่สามารถทำงานประมวลผลภาพได้แบบ Real time โดยเลือกใช้อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ (Programmable Gate Array : FPGA) สำหรับประมวลผลภาพ ภาพขนาด 640 x 480 พิกเซล ที่ ซึ่งมีอัลกอริทึมของลำดับการตรวจจับการล้มคือ 1) การตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุที่ใช้หลักการของการลบออกของพื้นหลังเพื่อสกัดวัตถุที่เคลื่อนไหวออกมาจากภาพ 2) การลดในส่วนของเงาโดยการพิจารณาโดเมนของสีที่อยู่ในรูปแบบของ YCrCb และ 3) การตรวจจับการล้มโดยกำหนดกล่องขอบเขตสำหรับเป็นตัวแทนของความสูงและความกว้างของรูปร่างมนุษย์ โดยพิจารณาการล้มจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความสูงมีความน้อยกว่าความกว้าง แต่ไม่สามารถทำงาน

ได้หากการล้มนั้นเกิดขึ้นในแนวขนานกับเส้นมุมมองของตัวกล้อง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้สามรถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึง 33.33% และทำความเร็วในการประมวลได้ถึง 58.36 เฟรมต่อวินาที

M.Praveen Kumar, M.Sudhakaran & Seyezhai. [17] ได้ทำการศึกษาระบบการใช้เซ็นเซอร์จากกล้อง Kinect ตรวจจับการหกล้มของมนุษย์โดยใช้อัลกอริทึมตรวจจับโครงร่างมนุษย์ ซึ่งมีวิธีการพัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจจับการหกล้ม 7 ขั้นตอนคือ 1) วาดแผนภาพของร่างกายมนุษย์ 2) ดูภาพจากความลึก 3) ผสานภาพความลึกและโครงร่างในพิกัดโลก 4) การรู้จำร่างกายมนุษย์จำภาพโครงร่างความลึก 5) แปลงสมการของภาพ RGB พิกเซล และความลึกของภาพ 6) ตรวจสอบสถานการณ์เคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์จากภาพ RGB 7) การตรวจสอบการล้มจากพิกัดที่แตกต่างกันกับเวลา

Alex Edgcomb and Frank Vahid [18] นำเสนอการเปรียบเทียบการตรวจจับการล้มกับภาพวิดีโอที่ถูกปรับปรุงภาพเพื่อความเป็นส่วนตัวประกอบไปด้วยวิดีโอทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ วิดีโอต้นฉบับ, วิดีโอที่มีการเบลอตัวบุคคล, วิดีโอที่มีการใช้เงาโครงร่างตัวคน, วิดีโอที่มีการสร้างวงรีแทนโครงร่างตัวคน และวิดีโอที่มีการใช้กล่องขอบเขตล้อมรอบตัวคน งานวิจัยนี้ใช้ฟีเจอร์หลักคือค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้าง และส่วนกลับของค่าดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์ล้มแบบ Binary tree classification เพื่อพิจารณาค่า Dynamic Time Warping (DTW) จากการประมวลผลสัญญาณค่าอัตราส่วนเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกราฟที่เกิดขึ้นเพื่อจำแนกเหตุการณ์ของการล้มได้ ซึ่งผลของการเปรียบเทียบพบว่าชนิดของวิดีโอที่มีการสร้างวงรีแทนโครงร่างตัวคนนั้นสามารถทำค่าความถูกต้องการจำแนกเหตุการณ์การล้ม Sensitivity และ Specificity ที่ 91% และ 92% ตามลำดับ

Y. Liu, C. Stoll, J. Gall, H. Seidel และ C. Theobalt [19] ได้เสนอวิธีการตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบปราศจากการทำเครื่องหมายไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกาย ของการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ใช้สองคนที่มีส่วนของร่างกายสัมผัสกันอยู่ เช่น ผู้ใช้สองคนกำลังเต้นรำ งานวิจัยนี้สามารถแยกโครงร่างของผู้ใช้สองคนออกจากกัน ได้ด้วยการใช้วิธีการแบ่งแยกส่วนของรูปภาพ (Image Segmentation) โดยทำการแบ่งแยกส่วนของรูปภาพที่ได้จากการจับภาพทั้งสองคนในหลาย ๆ มุมมอง จากนั้นจะทำการประเมินพื้นผิว (Surface Estimation) สร้างแบบจำลองสามมิติ และสร้างโครงร่างของผู้ใช้แต่ละคน ตามผลการทดสอบวิธีการที่งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือในการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผู้ทดสอบสัมผัสกันโดยมีความผิดพลาดบ้างในบางเฟรมที่ผู้ทดสอบมีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วและมีความผิดพลาดจากการแบ่งแยกส่วนของรู้ภาพที่มีสีเหมือนกัน

Lie Yang, Yanyun Ren, Wenqiang Zhang [20] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์ภาพเชิงลึก 3 มิติสำหรับการหกล้มภายในบ้าน การศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุภายในห้องที่มีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมแบบภาพเชิงลึก 3 มิติ โดยใช้เซ็นเซอร์จากกล้อง Kinect โดยภาพเชิงลึกคือการนำเสนอก่อนโดยใช้ค่าเฉลี่ย ตัวกรองสัญญาณทั้งคู่สำหรับพื้นหลังและเป้าหมาย เงาในการเคลื่อนย้ายบุคคลในภาพความลึกสามารถทำได้โดยวิธีการลบภาพพื้นหลังภาพความลึกจะถูกแปลงเป็นแผนที่แตกต่างกันซึ่งได้มาจากแนวนอนและแนวตั้งสถิติการฉายกราฟแสดงความถี่ของข้อมูลข้อมูลระนาบการจากพื้นเบื้องต้นจะได้รับโดยแผนที่ V ที่แตกต่างกันและสมการบนพื้นระนาบโดยใช้พื้นที่สี่เหลี่ยมที่มีค่าน้อยที่สุด ข้อมูลเรื่องรูปร่างของมนุษย์ในภาพความลึกมีการวิเคราะห์โดยการตั้งค่าของฟังก์ชั่น ข้อมูลเรื่องรูปร่างของมนุษย์ในภาพความลึกมีการวิเคราะห์โดยการตั้งค่าของการทำงานชั่วขณะ ค่าสัมประสิทธิ์ของวงรีที่มีการคำนวณในการกำหนดทิศทางของแต่ละบุคคล เซนทรอยด์ของร่างกายมนุษย์จะมีการคำนวณและมุมระหว่างร่างกายมนุษย์และระนาบการชั้นที่มีการคำนวณ เมื่อทั้งสองระยะทางจาก centroids ของร่างกายมนุษย์กับระนาบ

พื้นและมุมระหว่างร่างกายมนุษย์และระนาบการชั้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์บางอย่างตกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจพบ การทดลองกับทิศทางที่ลดลงจะดำเนินการที่แตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถตรวจสอบเหตุการณ์ล้มที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรม

บทความวิชาการนี้ได้ทำการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมหลักการ แนวคิดต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้หรือเป็นแนวทางการพัฒนาการตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุด้วยกล้องไคเนคต์ ซึ่งผลจากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผู้สูงอายุในประเทศไทยมีจำนวนสูงขึ้น และพบว่ามีความผิดปรกติที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุจากการหกล้มเป็นจำนวนมาก และส่งผลให้เป็นสาเหตุต้องรักษาพยาบาลยาวนาน เกิดอาการบาดเจ็บและในบางรายอาจส่งผลให้เสียชีวิตได้ในที่สุด ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้า และพัฒนาการตรวจจับสัญญาณจากกล้องไคเนคต์มาใช้ในการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ บนร่างกายได้ถึง 20 จุดบนร่างกายโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมใด ๆ ให้แก่ผู้สูงอายุ และนอกจากนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่รองรับการตรวจจับการเคลื่อนไหว เสียงและท่าทางที่มีราคาไม่แพงนัก ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุควรศึกษาฟังก์ชั่นของกล้องไคเนคต์ การพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านค่าจากการประมวลผลภาพ การจำลองสถานการณ์การล้มเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมให้มีความหลากหลายรูปแบบเพื่อรองรับกับลักษณะการเคลื่อนไหวร่างกาย ลักษณะการล้มและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การประมวลผลภาพดิจิทัล การตรวจจับการเคลื่อนไหวและระบุตำแหน่งของกล้องไคเนคต์ วิธีการรู้จำท่าทางมนุษย์ 2 มิติและ 3 มิติจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์ และเทคนิควิธีการวัดประสิทธิภาพ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ละออม สร้อยแสง จริยวัตร คมพยัคฆ์และกนกพร นทีธนสมบัติ. (2557). **การศึกษาแนวทางการป้องกันการหกล้มในผู้สูงอายุชุมชนมิตรภาพพัฒนา,** วารสารพยาบาลทหารบก. 2557. 1:122-129.

[2] IQNewsAlert. (2557). **สายใยครอบครัว : การหกล้มในผู้สูงอายุ.** โลกวันนี้วันสุข. 2557. 471: 46.

[3] สมหญิง ไทยนิมิต. (2553). **การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้นด้วย MATLAB.** E-book เฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี.

[4] Microsoft XBOX. (255). **Kinect for Xbox 360.** สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2559, http://www.xbox.com/en-US/xbox-360/accessories/kinect

[5] เจาะลึกโครงสร้างของ Kinect สำหรับ Windows ตอนที่ 1. (2559). สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2559, จาก HONG"S ON GOOGLE : https://kinectasia.wordpress.com/

[6] ธรรมศาสตร์ วิสุทธารมณ์. 2557. **การแยกท่าทางของมนุษย์ด้วยการใช้กล้อง Kinect.** (ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

[7] Microsoft Developer Network, Tracking Modes (Seated and Default) [Online], Available: http://msdn.microsoft.com/enus/library/- hh973077.aspx [2014, October 10]

[8] Microsoft Developer Network, Kinect Sensor [Online], Available:http://msdn.microsoft.com/en- us/library/hh438998.aspx [2014, October 10]

[9] ภูสิต กุลเกษมและคณะ. (2558). **การตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุในห้องพักในบ้านพักคนชรา.** คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

[10] ฟิสิกส์ครูโชติ. 2559. **ความสมดุล.**สืบค้นเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2559 จาก

http://kruchote.blogspot.com/2009/07/blog-post_9397.html

[11] Tom Fawcett. (2006). **"An Introduction to ROCAnalysis".** Pattern Recognition Letters, Vol. 27,2006, pp. 861-874, 2.

[12] ธีรศักดิ์ ขอพุทธพรชัย. (2550). **การตรวจจับเหตุการณ์หกล้มของผู้สูงอายุจากกล้องวงจรปิดด้วยการประมวลผลภาพ.** ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. หาดใหญ่

[13] ธนชัย ศรีใหม่และนวพร วิสิฐพงศ์พันธ์. (2553).ระบบขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนสถานการณ์ล้มของบุคคลสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุ. **The 6th National Conference on computing and InformationTechnology,** 55-60, ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[14] ประชารัฐ สงัดศัพท์, ชวาล คูร์พิพัฒน์ (2556). **การพัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจหาการหกล้มด้วย ไคเนคต์.** การประชุมหาดใหญ่วิชาการครั้งที่ 4 เรื่องการวิจัยเพื่อพัฒนาสังคม (10 พฤษภาคม 2556)

[15] ภูสิต กุลเกษมและคณะ. (2558). **การตรวจจับการหกล้มของผู้สูงอายุในห้องพักในบ้านพักคนชรา.** คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

[16] Peng Shen Ong, et al, **"An FPGA-Based Hardware Implementation of Visual based Fall Detection,"** IEEE International Conference on Region 10 Symposium, 2014, pp. 397-402.

[17] M.Praveen Kumar M.Sudhakaran & .Seyezhai. (2016). **"Kinect Sensor base Human Fall Detection System Using Skeleton detectionAlgorithm",** International Conference on Engineering Innovations and Solutions (ICEIS – 2016)

[18] Alex Edgcomb and Frank Vahid **"Automated Fall Detection on Privacy Enhanced Video",** IEEEInternational Conference on Engineering inMedicine and Biology Society (EMBC), 2012, pp. 252-255.

[19] Yebin Liu, Carsten Stoll, Juergen Gall, Hans-Peter Seidel, Christian Theobalt.(2016) **"Markerlessmotion capture of interacting characters using multi-view image segmentation",** Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on, 2011, pp. 1249-1256.

[20] Lie Yang, Yanyun Ren, Wenqiang Zhang (2016). **3D depth image analysis for indoor fall detection of elderly people.** DigitalCommunications and Network.Volume2, Issue1, February 2016. (24-23)