บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีช่วยให้มนุษย์ปลอดภัยจากภัยอันตรายมากขึ้น ทั้งที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ปัจจุบันภัยอันตรายที่เกิดจากการกระทำผิดของมนุษย์สามารถพบได้หลากหลายรูปแบบซึ่งล้วนแต่ทวีความรุนแรงมากขึ้น เช่น การวางระเบิดในสถานที่สำคัญ การโจรกรรมทรัพย์สิน และการประทุษร้ายบุคคลอื่น มนุษย์จึงนำเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันเพื่อแก้ไขและป้องกันสาเหตุที่จะทำให้เกิดปัญหาเหล่านั้น ระบบระแวดระวังด้วยกล้องวีดิทัศน์ (Surveillance system) เป็นระบบการทำงานชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยเหลือและแก้ไขขีดจำกัดทางการทำงานของมนุษย์ โดยมีระบบกล้องวีดิทัศน์ทำหน้าที่ในการเฝ้ามองและตรวจสอบเหตุการณ์ที่สนใจย้อนหลัง นอกจากนี้ในระบบกล้องวีดิทัศน์ที่ชาญฉลาดยังมีความสามารถในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดภัยอันตรายล่วงหน้าได้ด้วยการแจ้งเตือน การตรวจจับ และการติดตามวัตถุหรือบุคคลที่สนใจ ดังนั้นระบบกล้องวีดิทัศน์จึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบระแวดระวังอยู่เสมอ

ระบบระแวดระวังด้วยกล้องวีดิทัศน์ที่ชาญฉลาด (Intelligent surveillance system) เป็นรูปแบบการประยุกต์ใช้งานกล้องวีดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัวให้ทำงานในลักษณะการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ร่วมกัน ด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลการประมวลผลตามชนิดของโครงข่าย เช่น โครงข่ายการประมวลผลข้อมูลแบบรวมศูนย์ (Centralized network) แบบแยกศูนย์ (Decentralized network) และแบบกระจาย (Distributed network) วัตถุประสงค์ของระบบระแวดด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ระวังมักถูกใช้เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจหา ติดตาม ระบุ หรือรู้จำบุคคลที่สนใจด้วยการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ร่วมกัน เช่น งานวิจัย [1] และ [2] ทำการออกแบบโครงสร้างของระบบระแวดระวังภายในอาคารสำหรับการติดตามบุคคล ด้วยการให้กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) ทำการตรวจหาตำแหน่งบุคคลที่เคลื่อนที่ จากนั้นจึงส่งตำแหน่งดังกล่าวให้กับ

กล้องวีดิทัศน์แบบส่าย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera, PTZ) ทำการเคลื่อนเพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองไปยังตำแหน่งเดียวกับที่กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองส่งมา ทั้งนี้ต้องมีการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างกล้องวีดิทัศน์ในระบบไว้ล่วงหน้า เช่นเดียวกับงานวิจัย [3] เมื่อได้ตำแหน่งของบุคคลที่ต้องการติดตามแล้วมีการตรวจสอบพบว่าบุคคลล้มตัวลงภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง จะกำหนดให้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพมายังตำแหน่งเดียวกันกับกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง แล้วทำการเคลื่อนที่ด้วยการส่าย ก้มเงย และซูมตามบุคคลที่ล้มลงต่อไป งานวิจัย [4] เสนอการสร้างเส้นแสดงขอบเขตการมองเห็น (Field of view lines) จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองในระบบที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน (Overlapping view) เส้นแสดงขอบเขตการมองเห็นที่ได้จะเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงการส่งต่อบุคคลที่ทำการติดตามจากกล้องวีดิทัศน์สู่กล้องวีดิทัศน์ หรือเรียกว่าการแฮนออฟของกล้องวีดิทัศน์ (Camera handoff) เพื่อให้การติดตามบุคคลในระบบระแวดระวังด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง งานวิจัย [5] นำเสนอการใช้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ จำนวนสองตัวเลียนแบบการมองเห็นของเหยี่ยว กล่าวคือระบบจะให้กล้องวีดิทัศน์ตัวที่หนึ่งเฝ้ามองพื้นที่กว้างโดยรวมและใช้สำหรับเลือกและติดตามบุคคลที่สนใจ โดยพยายามให้บุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของมุมมองภาพตลอดเวลา จากนั้นให้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ตัวที่สองเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมมองการรับภาพไปยังเป้าหมายนั้นเช่นกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การส่ายและก้มเงยปัจจุบัน จากนั้นกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ตัวที่สองจะทำการซูมเพื่อเก็บรายละเอียดของเป้าหมาย ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถเห็นรายละเอียดของเป้าหมายที่ต้องการติดตามพร้อมกับการเห็นพื้นที่ในมุมกว้าง แต่จำเป็นต้องติดตั้งกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบอยู่ใกล้ชิดกัน เพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ นอกจากระบบระแวดระวังภัยแล้ว การทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นอีก เช่น งานวิจัย [6] นำเสนอระบบที่นำไปใช้ในงานประยุกต์การรู้จำกิริยาท่าทางของมนุษย์ ด้วยการค้นหาตำแหน่งของบุคคลที่เคลื่อนที่ภายในมุมมองของกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) แล้วส่งตำแหน่งที่ได้นี้ให้กับกล้องวีดิทัศน์แบบส่าย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera, PTZ) ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองไปยังตำแหน่งเดียวกับที่กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองส่งมา รายละเอียดของใบหน้าและมือของบุคคลจึงถูกขยายขึ้น

สำหรับการนำไปใช้ในระบบการเรียนการสอนทางไกลต่อไป จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ใช้ระบบกล้องวีดิทัศน์เพื่อการติดตามตามบุคคลมีประโยชน์ต่อระบบระแวดระวังมาก และเป็นสิ่งที่งานวิจัยในปัจจุบันให้ความสำคัญอยู่เสมอ

การทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์จำเป็นต้องมีข้อมูลของวัตถุซึ่งสามารถเข้าถึงร่วมกันได้มาใช้ในการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ร่วมกัน จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างกล้องวีดิทัศน์ มักถูกนำมาใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของบุคคลในระบบระแวดระวัง และมักจะเป็นการทำงานที่มีกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองทำหน้าที่เป็นหลักในการส่งต่อข้อมูลให้กับกล้องวีดิทัศน์ตัวอื่น เนื่องจากเป็นกล้องวีดิทัศน์ที่มุมมองการรับภาพที่แน่นอน หากสามารถสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับกล้องวีดิทัศน์ตัวอื่นในระบบได้ การส่งต่อตำแหน่งของบุคคลเพื่อระบุความเป็นเป้าหมายเดียวกันกับกล้องวีดิทัศน์ตัวอื่นก็สามารถทำได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการเทียบมาตรฐานทางพิกัดก่อนเสมอ (Calibration) ซึ่งมีข้อเสีย คือ หากสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์เปลี่ยนแปลง ทั้งจากสิ่งของที่วางอยู่หรือจากการเคลื่อนที่ของกล้องวีดิทัศน์ จะต้องทำการเทียบมาตรฐานทางพิกัดใหม่ทั้งหมด ทั้งนี้ยังมีข้อมูลอื่นของบุคคลที่นิยมนำมาใช้ในการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ร่วมกันอีก คือ ข้อมูลสีซึ่งถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่เข้าถึงง่ายที่สุด และสามารถบ่งบอกสมบัติเฉพาะตัวหรืออัตลักษณ์ของบุคคลได้เป็นอย่างดี งานวิจัยทางด้านการประมวลผลภาพวีดิทัศน์จำนวนมากที่ทำงานร่วมกับมนุษย์จึงอาศัยข้อมูลสีเป็นข้อมูลตัวแทนของวัตถุที่สนใจ เช่น งานวิจัย [7] จะทำการตรวจหาสีผิวมนุษย์เพื่อใช้ในการตรวจสอบใบหน้าของบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ งานวิจัย [8] ได้ทำการติดตามสีผิวของมนุษย์จากการเคลื่อนไหวที่ตรวจจับได้บริเวณแขนและมือของบุคคล ผลจากการติดตามจะถูกนำมาใช้ในการถอดความหมายเพื่อนำมาใช้ในงานประยุกต์ด้านการแปลความหมายภาษามือ ทั้งนี้สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้ข้อมูลสีในการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ คือ ข้อมูลสีของภาพที่รับได้จากกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวต้องไม่มีความผิดเพี้ยนจากกัน เพื่อลดความผิดพลาดในขั้นตอนการประมวลผลร่วมกัน และในสถานการณ์ที่กล้องวีดิทัศน์ถูกติดตั้งในบริเวณที่ต่างกันอาจทำให้ค่าความสว่างของวัตถุที่สนใจแตกต่างกันด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยตรง เพื่อแก้ปัญหาข้างต้นจึงต้องมีวิธีการเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัว

ให้เหมือนกันหรือใช้ข้อมูลอื่นร่วมในการพิจารณา เช่น งานวิจัย [9] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางสีระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบ ด้วยการนำภาพที่ได้จากกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวมาคำนวณหาค่าสีภายในภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบกับวัตถุที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานทางสี (Object color checker) เช่น ลูกบาศก์สี (Color cube) จากนั้นจึงทำการปรับค่าสีของภาพให้เหมือนกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กล้องวีดิทัศน์ที่อยู่ในระบบสามารถทำงานเปรียบได้ว่าเป็นกล้องวีดิทัศน์ตัวเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลรูปร่างของบุคคลมาใช้ร่วมกับข้อมูลสีที่ได้ในการติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามบุคคลอันเนื่องจากผลกระทบด้านแสงสว่าง ทั้งนี้ข้อมูลสีที่ได้ยังถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการส่งต่อบุคคลจากกล้องวีดิทัศน์สู่กล้องวีดิทัศน์อีกด้วย งานวิจัยข้างต้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการเลือกใช้ข้อมูลสีในระบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพใกล้เคียงกัน หรือต่างกันแต่ลักษณะของบุคคลที่แต่ละมุมมองของภาพที่ได้รับไม่ซับซ้อน เช่น สีเสื้อของบุคคลเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หรือบุคคลที่สนใจไม่มีสัมภาระหรือปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าสีซึ่งส่งผลต่อภาพของบุคคลที่ได้รับเปลี่ยนแปลง

จะเห็นได้ว่าปัญหาสำคัญในงานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวีดิทัศน์ คือความสามารถในการส่งต่อวัตถุที่สนใจจากกล้องวีดิทัศน์สู่กล้องวีดิทัศน์ หรือเรียกว่าการแฮนออฟของกล้องวีดิทัศน์ (Camera handoff) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสำคัญ เช่น งานวิจัย [4] [9] และ [14] ถึง [20]โดยเฉพาะงานวิจัย [20] ที่นำทฤษฎีเกม (Game theory) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ เพื่อการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองดีที่สุดต่อบุคคลที่สนใจ ในทุก ๆ กระบวนการที่สำคัญของการติดตามบุคคลด้วยงานวิจัยนี้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลสีที่ได้จากการติดตามครั้งแรกที่ตรวจจับบุคคลได้ เพราะฉะนั้นหากลักษณะสีของบุคคลเปลี่ยนไป ทั้งจากลักษณะของบุคคลเอง เช่น การเคลื่อนที่ของบุคคลที่สวมเสื้อคลุมหรือสะพายกระเป๋า และจากการปรับเปลี่ยนมุมมองด้วยการเคลื่อนที่ของกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ก็อาจทำให้กระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์เกิดความผิดพลาดขึ้นจากการจับคู่คุณลักษณะบุคคลที่คลาดเคลื่อนได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลกระทบที่มุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบเป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ซึ่งสามารถแก้ไขได้หากระบบการติดตามมีข้อมูลลักษณะบุคคลที่เพียงพอต่อการส่งต่อ กล่าวคือ หากระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลของ

บุคคลได้มาก โอกาสในการตรวจสอบพบบุคคลที่เป็นเป้าหมายเดียวกันระหว่างกล้องวีดิทัศน์ก็สูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ระบบการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง

การพัฒนาและปรับปรุงระบบระแวดระวังด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่ถูกให้ความสนใจในปัจจุบัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอรูปแบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ โดยอาศัยเทคนิคการสะสมข้อมูลสีของบุคคลเพื่อแก้ปัญหาผลกระทบจากมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ นอกจากนี้ผลลัพธ์ในการติดตามบุคคลยังถูกใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด เพื่อการเคลื่อนของกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ด้วยการส่ายและก้มเงยตามบุคคลที่สนใจอีกด้วย

หัวข้อถัดไปจะเป็นการนำเสนอการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในพัฒนาและปรับปรุงการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยด้านการติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์จะถูกนำเสนอก่อน เนื่องจากเป็นพื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยทางด้านระบบระแวดระวังภัยจากมนุษย์ ลำดับถัดไปจะเป็นงานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์ ซึ่งประกอบไปด้วยการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ รวมถึงการเลือกกล้องวีดิทัศน์ซึ่งมีมุมมองต่อวัตถุหรือบุคคลที่สนใจดีที่สุด

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์

การติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์สำหรับระบบระแวดระวังเป็นการติดตามที่ถูกคาดหวังในการประยุกต์ใช้ได้ในเวลาจริง (Real-time processing) ดังนั้นสิ่งสำคัญในการประมวลผล คือ จะต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ไม่ซับซ้อนในการคำนวณ และใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยแต่ยังคงประสิทธิภาพการทำงานที่ดีอยู่ งานวิจัย [10] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยด้วยการประมาณความหนาแน่นของข้อมูลที่ต้องการติดตามภายในบริเวณที่สนใจ จากนั้นจึงสำรวจข้อมูลตัวอย่างด้วยการสร้างพื้นที่เล็ก ๆ โดยรอบบริเวณที่สนใจนั้น หาก

บริเวณที่สำรวจมีความหนาแน่นของข้อมูลมากกว่าก็จะพิจารณาให้เป็นพื้นที่สนใจใหม่ ซึ่งเป็นลักษณะของการติดตามข้อมูลที่สนใจ การสำรวจเพียงข้อมูลโดยรอบนี้ส่งผลให้ข้อมูลบริเวณอื่นไม่ถูกพิจารณา วิธีการนี้จึงคงทนต่อการถูกขัดขวางการทำงานจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ งานวิจัย [11] ได้นำวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยทำการติดตามสีของใบหน้าที่ได้จากการตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งพบว่าหากภาพพื้นหลังหรือองค์ประกอบภายในภาพมีสีที่ใกล้เคียงกับสีใบหน้าจะทำให้การติดตามใบหน้าผิดพลาด งานวิจัย [12] ได้ให้ความสำคัญในการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของข้อมูลที่ต้องการติดตาม ด้วยการเลือกใช้ฟังก์ชันแบบเกาส์เซี่ยนมาประมาณความหนาแน่นข้อมูลสีของวัตถุที่ต้องการติดตาม สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานด้านการติดตามบุคคล งานวิจัย [9] ได้นำข้อมูลรูปร่างหรือขอบของบุคคลมาร่วมใช้ในการสร้างฟังก์ชันความหนาแน่นกับข้อมูลสี ส่งผลให้สามารถติดตามบุคคลในสภาพแสงสว่างที่แตกต่างกันได้ งานวิจัย [13] นำเสนอวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously Adaptive Mean-Shift, CAMShift) ด้วยการนำเอาพื้นฐานของการติดตามแบบการย้ายตามค่าเฉลี่ยมาทำงานร่วมกับขั้นตอนการปรับเปลี่ยนขนาดของพื้นที่ในการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่น หรืออาจเรียกว่าหน้าต่างการค้นหาขณะทำการติดตามวัตถุ ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถทำการติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างและขนาดได้ดี อีกทั้งตราบใดที่วัตถุไม่ถูกบดบังทั้งหมดจากสิ่งกีดขวาง CAMShift จะยังคงมีแนวโน้มติดตามวัตถุได้จากข้อมูลที่เหลืออยู่ภายในหน้าต่างการค้นหา

การนำขั้นตอนวิธีการติดตามวัตถุแบบ CAMShift ไปใช้ในสถานการณ์เฝ้าระวังพบว่ายังมีหลายสถานการณ์ที่ทำให้การติดตามวัตถุเกิดความผิดพลาด งานวิจัยที่ปรับปรุง CAMShift จึงถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการติดตามวัตถุได้ดีกับสถานการณ์ที่เฉพาะเจาะจง เช่น งานวิจัย [3] ได้แบ่งวัตถุออกเป็นหลาย ๆ ส่วน แล้วจึงทำการติดตามส่วนต่าง ๆ เหล่านั้นโดยพร้อมกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้ฉากหลังจะมีสีบางส่วนที่ใกล้เคียงกับวัตถุ การติดตามก็ยังคงดำเนินต่อไปได้ งานวิจัย [4] ได้เพิ่มข้อมูลทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อทำการติดตามวัตถุในสถานการณ์ที่ถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง และสีของฉากหลังใกล้เคียงกับสีวัตถุที่ต้องการติดตาม งานวิจัย [5] ได้ให้ความสำคัญกับการกำจัดข้อมูลของฉากหลังที่ซึ่งมักถูกนำมาคำนวณในกระบวนการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของวัตถุ ด้วยการค้นหาขอบของวัตถุก่อนเพื่อจำกัดขนาดหน้าต่างการค้นหาให้ใกล้เคียงกับวัตถุมากที่สุด

การติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์จำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคลที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว และคงทนต่อการถูกบดบังจากสิ่งกีดขวางที่ได้บ้าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการติดตามบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่องจึงถูกนำมาใช้เป็นขั้นตอนในการติดตามบุคคลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2.2 งานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์

งานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์จะพิจารณาเรื่องการส่งต่อวัตถุระหว่างกล้องวีดิทัศน์เป็นหลัก เนื่องจากเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของวัตถุที่ต้องการติดตาม วิธีการส่งต่อวัตถุระหว่างกล้องวีดิทัศน์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ วิธีการใช้ลักษณะเด่นของเป้าหมาย (Feature-based approach) วิธีการใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิต (Geometry-based approach) และวิธีการใช้คุณสมบัติแบบผสมผสาน (Hybrid-based approach) โดยวิธีการใช้ลักษณะเด่นของเป้าหมายมักใช้ข้อมูลสีของวัตถุเป็นหลักในการตรวจสอบความเหมือนของกระบวนการจับคู่วัตถุระหว่างกล้องวีดิทัศน์ แม้ข้อมูลสีจะเป็นข้อมูลที่เข้าถึงง่ายแต่ก็มีข้อเสียคือ มีความไว (Sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างมาก สภาพแวดล้อมการติดตั้งกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวที่ต่างกันจึงอาจทำให้อ่านค่าสีของวัตถุเดียวกันต่างกันได้ นอกจากนี้กล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวอาจมีคุณสมบัติของตัวจับภาพในการอ่านค่าสีที่แตกต่างกันอีกด้วย การเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวีดิทัศน์ในระบบจึงมีความสำคัญ งานวิจัย [9] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางสีระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบ ด้วยการนำภาพที่ได้จากกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวมาคำนวณหาค่าสีภายในภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบกับวัตถุที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานทางสี (Object color checker) เช่น ลูกบาศก์สี (Color cube) จากนั้นจึงทำการปรับค่าสีของภาพให้เหมือนกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กล้องวีดิทัศน์ที่อยู่ในระบบสามารถทำงานเปรียบได้ว่าเป็นกล้องวีดิทัศน์ตัวเดียวกัน งานวิจัย [14] ได้นำเสนอวิธีการเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวีดิทัศน์ด้วยเช่นกัน ด้วยการหาค่าคอรีเลชั่นของค่าสีระหว่างกันของกล้องวีดิทัศน์แต่ละคู่ภายในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจหาบุคคลหรือวัตถุที่สนใจได้ในสถานการณ์ที่กล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวถูกติดตั้งภายใต้แสงสว่างที่ต่างกัน แต่ปัญหาคือต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อนอาจจะมีปัญหาเมื่อต้องการใช้งานในเวลาจริงและ

ระบบประกอบด้วยกล้องวีดิทัศน์หลายๆตัว สำหรับวิธีการทางเรขาคณิตจะเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของตำแหน่งในภาพที่ได้จากกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัว เช่น งานวิจัย [4] นำเสนอการสร้างเส้นสมมติแสดงขอบเขตการมองเห็น (Field of view lines, FOV lines) จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองในระบบที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน (Overlapping view) เส้นแสดงขอบเขตการมองเห็นที่ได้จะเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงการส่งต่อบุคคลที่ทำการติดตามจากกล้องวีดิทัศน์สู่กล้องวีดิทัศน์ โดยมีสมมติฐานว่าหากบุคคลที่เป็นเป้าหมายที่ถูกมองเห็นจากกล้องวีดิทัศน์ตัวที่หนึ่งเคลื่อนที่ไปยัง FOV lines ของกล้องวีดิทัศน์ตัวที่สอง กล้องวีดิทัศน์ตัวที่สองก็ควรมองเห็นเป้าหมายนั้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นเป้าหมายดังกล่าวจึงเป็นบุคคลเดียวกัน ต่อมา [15] ได้นำเอาเทคนิค FOV lines มาใช้ร่วมกับการคำนวณความเร็วของเป้าหมายเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกล้องวีดิทัศน์ที่ไม่มีมุมมองเหลื่อมกัน (Non-overlapping view) กล่าวคือ หากสามารถประมาณความเร็วในการเคลื่อนที่ของบุคคลและทราบว่าบุคคลเคลื่อนที่ออกจาก FOV lines ใดของกล้องวีดิทัศน์ตัวใดในระบบแล้ว ก็สามารถคาดเดาได้ว่าบุคคลนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังกล้องวีดิทัศน์ตัวใดในระบบ และงานวิจัย [16] ได้นำเอาเทคนิคทางการลงทะเบียนภาพ (Image registration) โดยการนำลักษณะเด่นที่เหมือนกันระหว่างสองภาพมาจับคู่กัน เพื่อนำมาใช้สร้าง FOV lines อย่างอัตโนมัติสำหรับการส่งต่อบุคคลเป้าหมายระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน งานวิจัย [4] [15] และ [16] ได้ใช้ FOV lines สำหรับการสร้างสัมพันธ์ระหว่างกล้องวีดิทัศน์ในระบบ ซึ่งมีข้อดีคือการคำนวณไม่ซับซ้อน และไม่ขึ้นกับปัจจัยทางด้านแสงสว่างและรูปร่างของบุคคล แต่จำเป็นต้องให้จุดที่เป็นตัวแทนของบุคคลอยู่ระนาบเดียวกับ FOV lines ซึ่งในที่นี้คือทางเดิน ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในพื้นที่แออัด หรือถูกบดบังจากสิ่งกีดขวางได้ง่าย

งานวิจัยข้างต้นเป็นการใช้กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพได้ เหมาะสมกับสถานการณ์ระแวดระวังที่เป็นพื้นที่โล่งและไม่ต้องการเก็บรายละเอียดของเป้าหมายแบบเจาะจง กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองจึงมีข้อจำกัดในกรณีที่บุคคลที่ต้องการติดตามเคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์ ทำให้ไม่สามารถติดตามบุคคลอย่างต่อเนื่องได้ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของกล้องวีดิทัศน์ทำให้เริ่มมีการนำกล้องวีดิทัศน์ประเภทส่าย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera) ซึ่งมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนแปลงมุมมองการรับภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อลดข้อจำกัดดังที่กล่าวมา การส่งต่อ

บุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ จึงไม่สามารถนำวิธีการข้างต้นมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งหมด หรืออาจทำได้ยากกว่า เช่น งานวิจัย [17] [18] และ [19] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางพิกัดของกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ทั้งหมดในระบบ เพื่อทำการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการระบุตำแหน่งที่เหมือนกันระหว่างมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัว ซึ่งวิธีการคำนวณเป็นไปอย่างซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic parameters) อาทิความยาวโฟกัส (Focal length) มิติซีซีดี (CCD dimensions) และความบิดเบือนของเลนส์ (Lens distortion) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระดับการซูม อีกทั้งหากมีการส่ายหรือก้มเงยก็จะส่งผลให้พารามิเตอร์ภายนอก (Extrinsic parameters) ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์การเลื่อน (Translation) และการหมุน (Rotation) ได้รับผลกระทบด้วย การเทียบมาตรฐานทางพิกัดของกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ จึงต้องการขั้นตอนที่พิถีพิถันในการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ให้เกิดขึ้นระหว่างกล้องวีดิทัศน์ จึงไม่เหมาะสมกับระบบระแวดระวังที่มีกล้องวีดิทัศน์เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ยังสามารถนำวิธีการเทียบมาตรฐานทางพิกัดไปประยุกต์ใช้กับการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง และ PTZ โดยให้กล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมองทำหน้าที่หลักในการส่งตำแหน่งของบุคคลที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์การส่าย และก้มเงยของกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ เช่น งานวิจัย [3] เมื่อได้ตำแหน่งของบุคคลที่เคลื่อนที่แล้วมีการตรวจสอบพบว่าบุคคลล้มตัวลงภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง จะกำหนดให้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพมายังตำแหน่งเดียวกันกับกล้องวีดิทัศน์แบบตรึงมุมมอง แล้วทำการเคลื่อนที่ด้วยการส่าย ก้มเงย และซูมตามบุคคลที่ล้มลงต่อไป นอกจากการเทียบมาตรฐานทางพิกัดภาพแล้ว สำหรับกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ยังสามารถทำการเทียบมาตรฐานทางพารามิเตอร์การส่าย ก้มเงย และซูมได้ด้วย เช่น งานวิจัย [5] นำเสนอการใช้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ จำนวนสองตัวเลียนแบบการมองเห็นของเหยี่ยว กล่าวคือระบบจะให้กล้องวีดิทัศน์ตัวที่หนึ่งเฝ้ามองพื้นที่กว้างโดยรวมและใช้สำหรับเลือกและติดตามบุคคลที่สนใจ โดยพยายามให้บุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของมุมมองภาพตลอดเวลา จากนั้นให้กล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ตัวที่สองเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมมองการรับภาพไปยังเป้าหมายนั้นเช่นกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การส่ายและก้มเงยปัจจุบัน จากนั้นกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ตัวที่สองจะทำการซูมเพื่อเก็บรายละเอียดของเป้าหมาย ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถเห็นรายละเอียดของเป้าหมายที่ต้องการติดตามพร้อมกับ

การเห็นพื้นที่ในมุมกว้าง แต่จำเป็นต้องติดตั้งกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบอยู่ใกล้ชิดกัน เพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์

จากการศึกษาพบว่าลักษณะเด่นของข้อมูล เช่น ข้อมูลสีเสื้อของบุคคล เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ เนื่องจากสามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เช่น งานวิจัย [9] และ [20] ได้อาศัยการเปรียบเทียบข้อมูลสี Hue จากปริภูมิสี HSL ที่ใกล้เคียงในกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ ข้อดีของการเลือกใช้ค่าข้อมูลสี Hue คือ เป็นค่าสีที่ถูกแยกค่าความสว่างออกไปแล้ว ทำให้กระบวนจับคู่เพื่อการส่งต่อบุคคลสามารถทำงานได้ดีแม้ในสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง สำหรับงานวิจัย [20] ได้ให้ความสำคัญกับกระบวนการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลที่ดีที่สุดด้วยจากการใช้ทฤษฎีเกม ทั้งนี้งานวิจัย [9] และ [20] สามารถทำงานได้ดีกับระบบกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพใกล้เคียงกัน หรือต่างกันแต่ลักษณะของบุคคลที่แต่ละมุมมองของภาพที่ได้รับไม่ซับซ้อน เช่น สีเสื้อของบุคคลเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หากบุคคลที่สนใจมีสัมภาระหรือปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าสีซึ่งส่งผลต่อภาพของบุคคลที่ได้รับเปลี่ยนแปลง อาจทำให้ขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ผิดพลาดได้ ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถเรียกได้ว่าเป็นผลกระทบจากมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ซึ่งเป็นปัญหาที่วิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญ

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบระแวดระวังภายในอาคาร โดยระบบจะประกอบด้วยกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ จำนวน 3 ตัว เพื่อทำการติดตามบุคคลที่ต้องการได้ ทั้งในสถานการณ์ที่มุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์เหลื่อมกันและไม่เหลื่อมกัน โดยให้ความสำคัญกับกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ สามารถแบ่งแนวทางของวิทยานิพนธ์ได้ดังนี้

1. การติดตามบุคคลที่กล้องวีดิทัศน์แต่ละตัว จะอาศัยขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้ข้อมูลสีเสื้อของบุคคลเป็นลักษณะเด่นในการติดตาม โดยภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวสามารถทำการติดตามได้มากกว่า 1 บุคคล

2. การสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล เป็นการสร้างแบบจำลองบุคคลที่ได้จากการสะสมข้อมูลสีของบุคคลขณะทำการติดตาม โดยมีเงื่อนไขในการสะสมข้อมูล คือ จะต้องมีความแตกต่างจากข้อมูลของบุคคลที่มีอยู่เดิม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกันในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์

3. การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ เป็นการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกันจากข้อมูลในแบบจำลองบุคคลที่สร้างไว้ในขั้นตอนที่ 2 วิธีการนี้จะถูกนำไปใช้ในการการแก้ปัญหาผลกระทบที่เกิดจากมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ทั้งนี้หากพบว่าบุคคลที่ทำการติดตามปรากฏอยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์ที่เหลื่อมกันจะทำการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลดีที่สุดในการติดตามโดยใช้ทฤษฎีที่นำเสนอโดย [20]

4. กำหนดให้กล้องวีดิทัศน์เคลื่อนที่ด้วยการส่ายและก้มเงยตามบุคคลที่ต้องการ ทั้งนี้หากบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์ที่เหลื่อมกัน จะมีเพียงกล้องวีดิทัศน์ตัวเดียวที่ทำการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลดีที่สุดในการติดตาม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ หลายตัว โดยให้ความสำคัญกับการส่ายและก้มเงยของกล้องวีดิทัศน์

2. ระบบการติดตามบุคคลสามารถทำการส่งต่อบุคคลจากกล้องวีดิทัศน์ตัวหนึ่งไปสู่กล้องวีดิทัศน์อีกตัวหนึ่งได้โดยอัตโนมัติ

3. มุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์ในระบบการติดตามสามารถเหลื่อมกัน และไม่เหลื่อมกันได้

4. สามารถทำการติดตามบุคคลซึ่งอยู่ในความสนใจท่ามกลางบุคคลอื่นได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัญหาการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวีดิทัศน์ เช่น การเลือกลักษณะเด่นของบุคคลในการติดตาม และมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ที่ส่งผลกระทบต่อการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์

2. ศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์เพื่อการติดตามบุคคล

3. เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ

4. ออกแบบและดำเนินการทดลองโดยใช้วีดิทัศน์ระแวดระวังในสถานการณ์จริง รวมทั้งวิเคราะห์ผล และปรับแก้ระเบียบวิธีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

5. เขียนบทความทางวิชาการและนำเสนอผลงาน

6. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความรู้พื้นฐานและการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวีดิทัศน์เพื่อติดตามบุคคลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2. สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาระบบการติดตามบุคคลสำหรับระบบระแวดระวังให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น