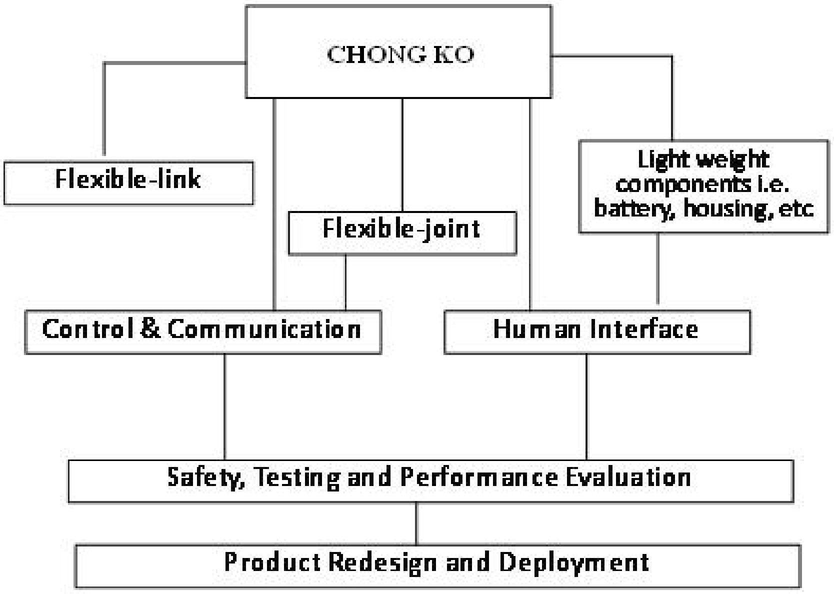
บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

บทนี้กล่าวถึงสังกัปหรือแนวคิดรวบยอดในการวางกรอบการสร้างหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สังกัปวัสดุและโครงสร้างแขนส่วนเชื่อมต่อ

เนื่องจากลักษณะของหุ่นยนต์ในโครงการนี้เป็นหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนใช้งานเอนกประสงค์ ซึ่งมีส่วนที่เป็นแขนกลอ่อนตัวและระบบควบคุมและสื่อสารอยู่ภายใน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ประกอบส่วนทั้งระบบองค์รวมจะต้องมีน้ำหนักเบา จึงมีสมมติฐานว่าวัสดุและอุปกรณ์องค์ประกอบโครงสร้างดังกล่าวที่มีน้ำหนักเบานั้นจะต้องมีความเหนียว เบา และยืดหยุ่น เพราะต้องทั้งรับน้ำหนักและต้องแข็งแรง ซึ่งตรงกับชนิดการศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ของแขนกลอ่อนตัว (Flexible-link robot arm) และข้อต่อต่าง ๆ จะต้องมีการอ่อนตัว (Flexible joint) กรอบแนวคิดอันเป็นแนวทางศึกษาจะดำเนินการโดยอาศัยภาพที่ 2.1 เป็นแนวทาง



ภาพที่ 2.1 กรอบแนวคิดทฤษฎีอันเป็นแนวทางสู่กิจกรรมการออกแบบและสร้าง

ดังได้แสดงในสมมติฐานและกรอบทฤษฎีในปัจจัยสำคัญอันเป็นแนวทางในการศึกษาสร้างรูปแบบหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนภายในประกอบด้วยแขนหุ่นยนต์พับได้เพื่อใช้งานเอนกประสงค์ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวกเพียงใช้บุคคลเดียว โดยแนวทางดังกล่าวจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบามาสร้างเป็นองค์ประกอบของโครงสร้าง โดยองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งและมีน้ำหนักต่อการศึกษาอย่างมาก คือ แขนหุ่นยนต์อ่อนตัว (flexible robot arm) ซึ่งเป็นแขนที่ทำจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง เช่น อลูมิเนียม (Al) พลาสติก หรือ ไฟเบอร์ (fiber) เป็นต้น แขนหุ่นยนต์ชนิดนี้ ได้รับความสนใจจากบรรดา นักวิทยาศาสตร์ วิศวกร และ นักวิจัยทั่วโลก มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ [1-9] ทั้งนี้เพราะ แขนชนิดนี้มีข้อดีกว่าแขนแบบดั้งเดิมที่ทำด้วยเหล็ก เช่น มีน้ำหนักเบากว่า ต้องการมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาดเล็กกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า ราคาประหยัดกว่า อย่างไรก็ตามข้อด้อยของแขนกลอ่อนตัวก็คือขณะปฏิบัติงานจะเกิดการสั่น ซึ่งอาจมีผลต่อการใช้บางประเภทที่ต้องการความแม่นยำและความละเอียดสูง เช่น งานประกอบชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์ระดับมินิ หรือ ไมโครสเกล ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายและมีประโยชน์ที่จะแก้ปัญหาเรื่องลดการสั่นของแขนกลแบบอ่อนตัวขณะปฏิบัติงาน ซึ่งผู้วิจัยได้เคยแก้ไขปัญหานี้สำเร็จมาแล้วในกรณีของแขนกลอ่อนตัวข้อต่อเดียวโดยใช้กระบวนการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลแบบฟัซซี (Fuzzy Control) [6] แต่แขนกลอ่อนตัวข้อต่อเดียวไม่เหมาะสมกับการใช้งานบางประเภทที่ต้องใช้การเคลื่อนที่คล้ายกับการยืดหรือหดของแขนมนุษย์ ซึ่งมีสองข้อต่อใหญ่ คือจากไหล่ถึงข้อศอก และจากข้อศอกถึงข้อมือ นอกจากนี้ ประเด็นของการควบคุมแขนกลข้อต่อเดียวในปัจจุบันได้มีการศึกษาครอบคลุมไปเกือบทุกประเด็นปัญหาและมีชุดการทดลองมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [10] ดังนั้นแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวสองข้อต่อจึงมีคุณลักษณะที่น่าสนใจอย่างมากในเชิงปฏิบัติการ

แต่ปัญหาประการสำคัญก็คือ การเกิดอันตรกริยาจากเคลื่อนที่ระหว่างแขนอ่อนตัวสองข้อต่อใด ๆ ที่เชื่อมชิ้นอันตะของกระเป๋าแปลงร่างในแต่ละช่วงซึ่งมีผลกระทบต่อกันและกัน การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในช่วงข้อต่อหนึ่งขณะปฏิบัติงานอาจทำให้เกิดการกระตุ้นแบบแผนของการสั่น (vibration mode) ของแขนอีกช่วงข้อต่อหนึ่ง แขนหุ่นยนต์อ่อนตัวสองข้อนี้จึงมีความซับซ้อน มีความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linearity) และยากต่อการควบคุมมากกว่าแขนกลอ่อนตัวแบบข้อต่อเดียวมาก ในการศึกษาส่วนที่เป็นการเชื่อมต่อชิ้นอันตะของส่วนประกอบหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนอันมีแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวสองข้อต่อใด ๆ เป็นรูปแบบพื้นฐานนั้น จะเกี่ยวข้องกับทำงานของการสั่นและผลกระทบในแขนกลอ่อนตัวระหว่างข้อต่อสองข้อต่อใดๆ สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับแขนกลชนิดนี้ ออกแบบระบบควบคุมอัจฉริยะ (Intelligent Control System) วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ สร้างแขนกลชนิดนี้และตัวควบคุมอัจฉริยะ (Intelligent Controller)

เมื่อเทียบงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้วระหว่างแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวแบบข้อต่อเดียวกับแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวแบบสองข้อต่อหรือหลายข้อต่อ พบว่า แขนหุ่นยนต์อ่อนตัวตั้งแต่สองข้อต่อขึ้นไปยังมีผู้ทำวิจัยในสัดส่วน

น้อยเมื่อเทียบกับแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวแบบข้อต่อเดียว งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวสองข้อต่อที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในกรณีกระเป๋าแปลงร่าง ได้แก่ งานวิจัยสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของแขนกลอ่อนตัวสองข้อต่อโดย Nicosia และคณะ [11] ซึ่งใช้วิธีแบบการกระจายแบบ Ritz (Ritz expansion) คล้ายกับงานวิจัยของ Park and Park [12] และการประมาณค่าแบบมิติจำกัด สำหรับการทดลองที่ยืนยันความเที่ยงตรง (validity) ของแบบจำลองนั้นเป็นการสร้างแขนกลในลักษณะเดียวกันกับงานของ Cannon and Schmitz [2] แต่เป็นการขยายการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแขนหุ่นยนต์จากข้อต่อเดียวเป็นสองข้อต่อ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังต้องการการวิเคราะห์รูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้งานวิจัยได้ครอบคลุมถึงกรณีที่ลำแขนกลมีสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นอีกด้วย

งานวิจัยของ Yang และคณะ [13] ได้กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองกระสวนการสั่นของแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวหลายข้อ (multi-link flexible robot arms) และแต่ละข้อต่อใช้วิธีควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD) โดยมีการควบคุมแต่ละข้อต่อแบบเป็นอิสระต่อกัน แม้ว่าจำมีการสร้างแบบจำลองตามกระสวนการสั่นในรูปเมตริกซ์ที่ลดรูปเหลือเพียง 2x2 เมตริกซ์ แต่การบรรยายเพียงสองหน้าไม่อาจครอบคลุมถึงรายละเอียดทั้งหมดที่มี โดยอาศัยความในวรรณกรรมปริทัศน์นี้จึงเป็นเพียงแค่แนวทางในการดำเนินการแบบย่อเท่านั้น

Luca และ Siciliano [14] ใช้วิธีแบบ Lagrangian สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของแขนกลอ่อนตัวหลายข้อต่อแบบแขนบางตามโดยอาศัยทฤษฎีคานของ Euler-Bernoulli โดยตั้งสมมติฐานการสั่นเพียงสองแบบแผน (two vibration modes) ในแต่ละข้อต่อ งานวิจัยนี้ให้ตัวอย่างของแบบจำลองของแขนกลอ่อนตัวสองข้อต่อโดยสมมติเงื่อนไขขอบเขตแบบมวลคานกระนาบ (clamped-mass boundary conditions) โดยอาศัยแนวทางจากงานวิจัย [2,15,16,17] อย่างไรก็ตามแบบจำลองยังไม่ครอบคลุมในกรณีที่มีการหน่วง (damping effects)

ในงานวิจัยของ Yazdizadeh และคณะ [18] ได้ใช้วิธีการระบุแบบจำลองระบบ (system identification) โดยวิธีการ Adaptive Time Delay Neural Network [19] ซึ่งเป็นระบบ MIMO (Muliti-Input Multi-Output) ของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น กับแขนหุ่นยนต์อ่อนตัวสองข้อต่อ วิธีการนี้ให้ผลดีโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสอนแบบ Off-line training อย่างไรก็ตาม ในวิธีการตามบทความดังกล่าวข้างต้นยังไม่ได้มีการสร้างจริง เป็นเพียงการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์เท่านั้น

ในส่วนการควบคุมแขนกลอ่อนตัวได้มีผู้ออกแบบและทำวิจัยแขนกลอ่อนตัวไว้หลายประเภทด้วยกัน อาจมีถึงร้อยกว่ารูปแบบที่ใช้ได้ ตัวอย่างเช่น การควบคุมแบบฟัซซี [6] แบบ Input/command shaping [20] การควบคุมแบบ H_2 optimal control [21] การควบคุมแบบปรับตัวได้ (adaptive control) [22] การควบคุมแบบ singular perturbation [23] แบบ Quaddratic d-Stability [24] และแบบ input preshaping เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนึงถึงการสร้างเทคโนโลยีของประเทศแบบที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ งานวิจัย ดังกล่าวข้างต้น

และที่มีอีกมากที่ยังไม่ได้กล่าวถึง จึงเป็นเพียงแหล่งความรู้ที่ดี (knowledge resources) แต่ยังไม่ใช่การรู้วิธีการ (know-how) งานวิจัยนี้ จึงมุ่งสร้างทั้งองค์ความรู้และวิธีการทำตามแบบที่ผู้วิจัยและคณะมีความถนัด โดยอาศัยแนวทางตามระเบียบวิธีวิจัยดังแผนผังในหัวข้อต่อไป

อนึ่ง จะเห็นได้ว่าแขนกลทำนองดังกล่าวมีการศึกษามานานแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในอวกาศ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาเหมาะแก่การขนส่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำแขนกลอ่อนตัวมาทำเป็นแขนกลพับได้ในกระเป๋าลากเลื่อนดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาสร้างหุ่นยนต์ชงโคเพื่อนำไปใช้ในทุกแห่งหนนานาประเทศ "ชงโค" จึงเป็นอุปกรณ์ส่วนบุคคลการเข้าถึงความเป็นเจ้าของหรือการแสดงตนในสิทธิการครอบครองและควบคุมมีความสำคัญยิ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจะนำรหัสลับอลวน (chaotic signal) สำหรับการพิสูจน์ตนซึ่งเป็นสิทธิบัตรของคณะวิจัย [25] และเป็นเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยโดยอาศัยทุนอุดหนุนวิจัยจาก วช. อันเป็นงบประมาณแผ่นดิน ปี 2553-2554 ในการเข้ารหัสลับพหุสื่อมาใช้ควบคุมหุ่นยนต์ชงโค ซึ่งจะทำให้ระบบมีการแสดงตนหรือแสดงบุคคลที่เป็นเจ้าของกล่าวคือ ผู้มิใช่เจ้าของมิอาจใช้สิทธิควบคุมหุ่นยนต์นี้ได้ ซึ่งจะปลอดภัยในกรณีประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการรักษาความปลอดภัยต่างๆ นอกจากนี้ ในการทดสอบความคงทนจะใช้การยิงสัญญาณอลวนไปรบกวนบริเวณทำงานของหุ่นยนต์ โดยอาศัยสมการอลวนแบบ Chua ดังแสดงใน [26] อนึ่ง "หุ่นยนต์ชงโคฉบับกระเป๋าลากเลื่อน" ยังสามารถรวมเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาพลศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์เชิงกล โดยใช้ร่วมกับบล๊อกสร้างสัญญาณอลวนเอนกประสงค์ที่ผู้วิจัยเป็นผู้นำเสนอใน [27] ได้อีกด้วย ดังจะได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างซึ่งนำเสนอการสร้างในบทต่อไป

2.2 ระบบเครือข่ายสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อน

ในหัวข้อ 2.1 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาเชิงพลศาสตร์และโครงสร้างทางด้านระบบควบคุมของหุ่นยนต์ ทว่า ไม่ได้ครอบคลุมถึงการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ที่มีมากกว่าสองตัวซึ่งสามารถนำไปใช้งานเป็นระบบเครือข่ายเพื่อเป็นสถานีย่อยให้บริการ Wi-Fi หรือเชื่อมต่อกับดาวเทียมในกรณีที่ระบบเครือข่ายสื่อสารหลักล่มสลายในยามประสบพิบัติภัยหรือในงานการทหาร การปราบจราจลหรือการก่อการร้าย [28] ได้อีกด้วย ซึ่งมีวรรณกรรมที่นำมาเสนอพอเป็นสังเขปดังนี้

งานวิจัย [29] การศึกษาการออกแบบเครือข่ายไร้สายแบบเม็ชในการสนับสนุนทีมช่วยเหลือในพื้นที่ประสบภัยขนาดใหญ่ ในสถานการณ์ที่โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารถูกทำลายและได้ใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียมระยะไกลเข้ามาผสมเพื่อเพิ่มระยะทางการส่งข้อมูลระหว่างศูนย์ช่วยเหลือและพื้นที่ประสบภัยพิบัติ ในด้านโปรแกรมประยุกต์ได้ร่วมฟังก์ชันการทำงานที่เป็นประโยชน์แก่การช่วยเหลือในสถานการณ์ฉุกเฉินไว้ เช่น การส่งสื่อมัลติมีเดีย อุปกรณ์ตรวจจับ-สภาพแวดล้อมต่างๆ

งานวิจัย [30-33] การทดสอบคุณลักษณะการทำงาน ในด้านต่างๆ ผ่านการจำลองด้วยโปรแกรม NS-02 เพื่อสร้างต้นแบบการทำงานของสัญญาณวิทยุ ให้มีคุณลักษณะเหมือนกับในสภาพแวดล้อมจริงได้ทุกอย่าง

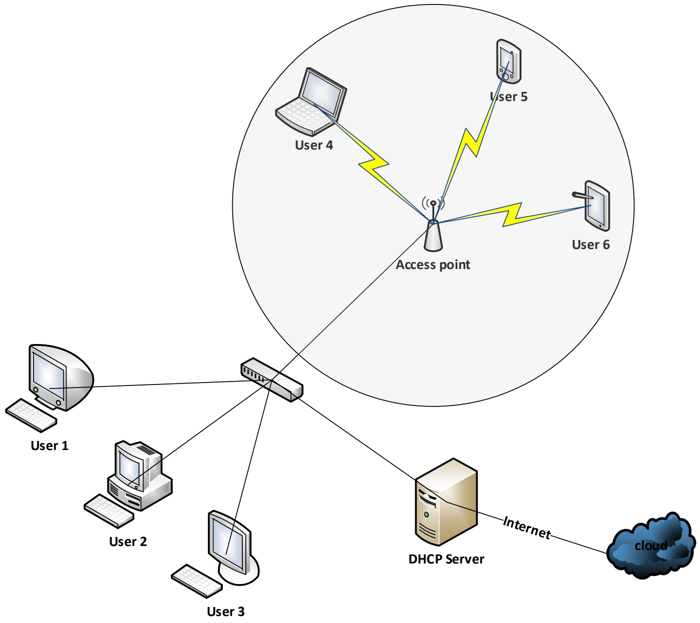
งานวิจัย [34-35] การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเน็ตเวิร์คไร้สายเฉพาะกิจในสภาวะแวดล้อมจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน

อนึ่ง ระบบเครือข่ายไร้สายที่มีเสถียรภาพที่ยอมรับกันในปัจจุบันและได้รับความสนใจใช้งานแพร่หลายคือ เครือข่ายไร้สายภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless Network)

ระบบเครือข่ายไร้สาย [36] เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างกลุ่มของอุปกรณ์เครือข่ายสามารถสื่อสารกันได้ โดยปราศจากการใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางการสื่อสารแทน การรับส่งข้อมูลระหว่างกันจะผ่านทางอากาศ ทำให้ไม่ต้องเดินสายสัญญาณและติดตั้งใช้งานได้สะดวกขึ้น ระบบเครือข่ายไร้สายใช้แม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศเพื่อรับส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างอุปกรณ์เครือข่าย โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อาจเป็นคลื่นวิทยหรืออินฟาเรดก็ได้ การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายมี 3 รูปแบบ ดังนี้

2.2.1 การเชื่อมต่อแบบ Infrastructure

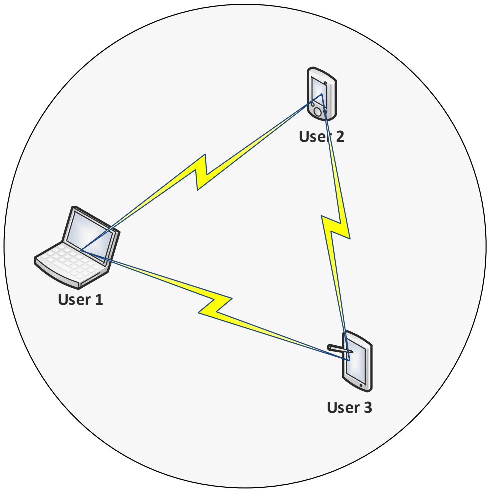
โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLA จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมด Infrastructure นี้ เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่างๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่าย (Access Point) ที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยในที่นี้เพื่อความสะดวกในการพิจารณาในแง่การสื่อสารตามปฏิบัติการที่คุ้นเคยเราสามารถแทนเครือข่ายหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนด้วยเครือข่ายคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือเนื่องเพราะโหมดการสื่อสารของหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนนั้นเป็นแบบสมองกลฝังตัว



ภาพที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบ Infrastructure

2.2.2 การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer

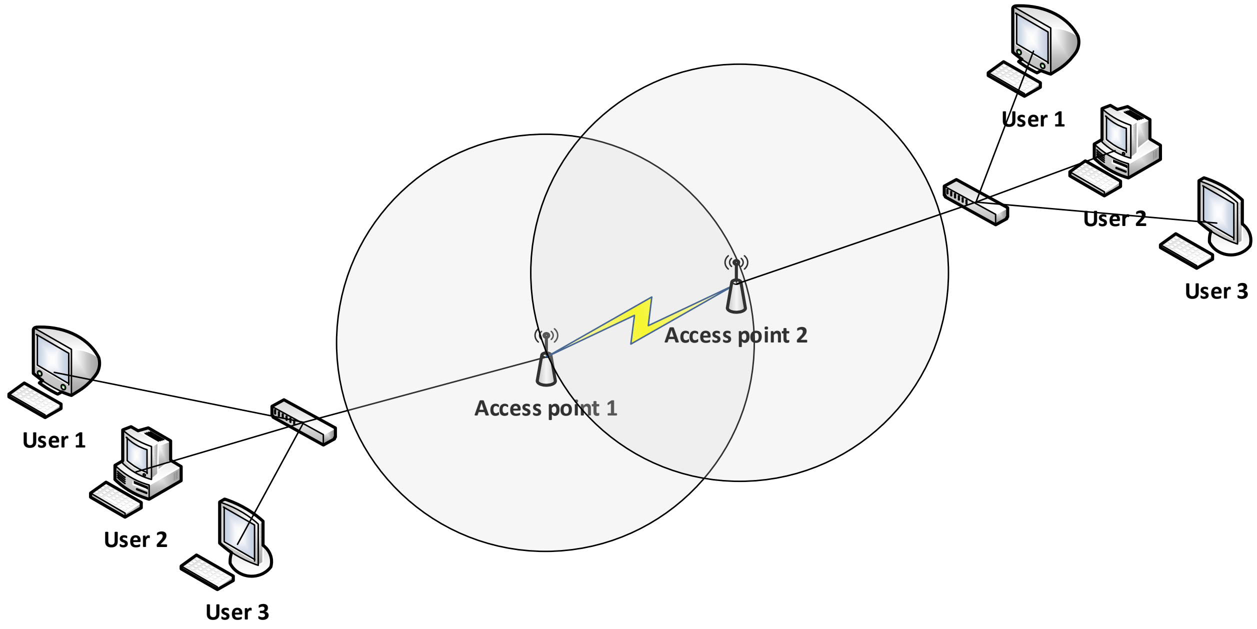
เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ปิดคือไม่มีสถานี แม่ข่ายและไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานี ผู้ใช้อื่นๆ ในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่ายหรือ Access Point แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นๆ ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer

2.2.3 **การเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point**

การเชื่อมต่อแบบนี้ชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Wireless Distributed System (WDS) คือระบบที่เชื่อมต่อด้วย Access Point หลายตัวภายใต้ Protocol 802.11 ให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ แทนการใช้ Network Backbone ที่ใช้สายแบบที่เป็นตามปรกติทั่วไป ซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่น คือใช้วิธีพินิจ MAC Address ของ Package ที่ส่งผ่านการเชื่อมต่อระหว่าง Access Point อ้างผ่าน MAC Address และแต่ละ Access Point จะต้องมี Channel และ Encryption Method เดียวกัน โดยการทำงานอาจพูดได้ว่าเป็น Repeater & Bridge แต่ก็มีข้อเสียคือ Throughput จะลดลงไปครึ่งหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point

บทนี้ ทบทวนวรรณกรรมสองส่วนใหญ่คือ ส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างระบบควบคุมและส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบสื่อสาร โดยส่วนที่หนึ่งจะนำไปใช้เป็นแนวคิดในการสร้างการควบคุมหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อน ส่วนในส่วนที่สองจะนำไปใช้ในการสร้างการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กระเป๋าลากเลื่อนเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ดังจะแสดงในบทต่อไป