



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์ออลานตัวนำยิ่งยวดสำหรับงานการศึกษาทางวิศวกรรม
Superconducting Chaotic Robots for Engineering Education

ประเภททุน งบประมาณแผ่นดิน รหัสโครงการ A118-0260-047

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นายปิติเชต สุรักษา

ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจาก ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวดสำหรับงานการศึกษาทางวิศวกรรม
Superconducting Chaotic Robots for Engineering Education

ประเภททุน งบประมาณแผ่นดิน รหัสโครงการ A118-0260-047

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นายปิติเชต สุรรักษา

ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจาก ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b002๗๐221

RC00160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) หุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวดสำหรับงานการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์
แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 990,000.00 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2559 ถึง 30 ก.ย. 2560

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายปิติเชต

ผู้รักษา

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวดซึ่งเป็นการผสมระหว่างภาวะตัวนำยิ่งยวดในปริภูมิจริง (real space) กับหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ (cyberspace) ผลงานที่ได้เป็นชุดสาธิตการการสอนแบบระบบไซเบอร์ผสมจริง (Cyber-Physical System, CPS) สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์โดยอาศัยหลัก STEAM ซึ่งสนับสนุนความรู้วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ศิลปะ (Art) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) มาบูรณาการร่วมกัน สภาวะตัวนำยิ่งยวดที่ใช้ในปริภูมิจริงกำเนิดจากการเติมสารหล่อเย็นไนโตรเจนเหลวให้กับแผ่นกอลมตัวนำยิ่งยวด $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$ จากนั้นใช้กระบวนการประมวลผลภาพ (image processing) ด้วยสมาร์ตโฟนของผู้เรียนตรวจจับปรากฏการณ์ Meissner เพื่อเป็นสวิตช์เปิดเข้าสู่ปริภูมิไซเบอร์ที่มีหุ่นยนต์ไซเบอร์เคลื่อนที่แบบอลวนปรากฏด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงแบบ AR (Augmented Reality) ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถขยายผล โดยอาศัยรูปแบบและแนวทางที่ได้ไปสู่การเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในทุกระดับชั้น อันเป็นการศึกษาที่สอดคล้องกับการเข้าสู่ยุคประเทศไทย 4.0

คำสำคัญ : หุ่นยนต์อลวน ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด การสอน การเรียนรู้

Research Title: Superconducting Chaotic Robots for Engineering Education

Researcher: Pitikhate Sooraksa

Faculty: Engineering

Department: Computer Engineering

ABSTRACT

This research presents design and implementation of superconducting chaotic robots. The work integrates superconductivity in the real-space with robots in the cyberspace, which is considered as a cyber-physical system. STEAM education, which integrates Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics, is used as a guideline for engineering education. In this demonstration, superconductivity makes happening by cooling $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$ with liquid nitrogen. Image processing is employed to sense Meissner's effect by using students' smart phones. Once the phenomenon is detected, chaotic robots are activated by augmented reality (AR). The results from this research can be extended to be a guideline for teaching sciences and engineering that corresponds to Thailand 4.0.

Keywords : chaotic robot, superconductor, pedagogy, learning

กิตติกรรมประกาศ

“การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน โดยสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่จัดสรรให้กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ”

คณะวิจัยขอขอบคุณ นักศึกษาผู้ช่วยงานวิจัยและนายปรมัตต์ สุรักษา ในด้านช่วยเขียนโปรแกรมสื่อเสมือนจริงและการสร้างภาพสามมิติ ขอขอบคุณนายศักดิ์ดา สาครตานันท์ที่ช่วยด้านการสร้างวงจรมอนิเตอร์อลวนในเฟสแรกของการทดลอง อีกทั้งผู้ช่วยงานในการเผาเซรามิกในกระบวนการสร้างตัวนำยิ่งยวดที่ต้องอดทนใช้เวลาในการเรียนรู้จนสามารถขึ้นรูปและมีคุณสมบัติตัวนำยิ่งยวดได้สำเร็จ การควบคุมและสื่อสารขอขอบคุณ นางสาวปณิการ์ เรณูเกสร สำหรับช่วยเขียนโปรแกรมทำงานย่อยในการสร้างภาพบนสมาร์ทโฟนและสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทนายวศิน ไวยनिया นายอุดมสิทธิ์ ตั้งตระกูลไพศาล และนายพีรภัทร์ ตั้งสุขนิรันดร์ สำหรับช่วยวาดรูปประกอบและการทดสอบระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดของ โครงการวิจัย.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน โครงการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เอกสารวิจัย.....	5
2.2 เอกสารสิทธิบัตร.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงาน โดยสังเขป.....	11
3.2 การดำเนินการเรียนรู้ตามแบบ STEAM.....	12
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	20
4.1 ผลลัพธ์เชิงเทคนิค.....	20
4.2 ผลกระทบ (Outcome).....	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	25
5.1 บทสรุป.....	25
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	26
เอกสารอ้างอิง.....	27
ภาคผนวก.....	30
ประวัตินักวิจัย.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง.....	4
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธีวิจัยในหัวข้อ 3.1 กับ STEAM.....	12
4.1 ผลการทดสอบอัลกอริธึมการประมาณเชิงตัวเลข.....	21
4.2 การเปรียบเทียบการคำนวณค่า Lyapunov exponents ด้วยการใช้อัลกอริธึมการประมาณแบบต่าง ๆ.....	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ปรัชญาการณ Meissner [8].....	2
1.2 กรอบแนวคิดระบบ CPS	3
2.1 ภาพแสดงมุมมองประดิษฐ์ในรูปที่ 4 ของ US Patent หมายเลข 5,396,136 [38].....	8
2.2 แผนผังในรูปที่ 1 ของ US Patent หมายเลข 20020098879 [40].....	9
2.3 แผนผังในรูปที่ 11 ของ US Patent หมายเลข 20020098879 [40].....	10
3.1 ความเป็นแม่เหล็กไดอาของตัวนำยิ่งยวด.....	12
3.2 ปรัชญาการณ Meissner ที่ได้จากการทดลอง.....	13
3.3 ฮาร์ดแวร์การสร้างสัญญาณอลวนเพื่อปรับค่าให้โปรแกรมระบบ AR.....	14
3.4 แบบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนเขียนด้วย Protel 99SE.....	14
3.5 แบบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนต่อกับวงจรขับเร้าแบบ H-bridge.....	15
3.6 ต้นแบบวงจรกำเนิดสัญญาณขับเร้าแบบ H-bridge (ซ้าย) แบบ PCB (ขวา) สร้างจริง.....	15
3.6 แผนผังการทำงานซอฟต์แวร์เพื่อกำเนิดวิถีโคจรหุ่นยนต์อลวน.....	16
3.7 แนวคิดระบบ CPS.....	17
4.1 อัลกอริธึมการประมาณที่ใช้ในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	20
4.2 การเปรียบเทียบอัลกอริธึมการประมาณที่ใช้ในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	22
4.3 วิถีโคจรของไซเบอร์ Octopus bot ตามการกำหนด Event.....	24
5.1 การเรียนรู้แบบ STEAM โดยอาศัยแนวทาง PBL ตามกระบวนการ Active Learning.....	26

บทที่ 1

บทนำ

โครงการวิจัยวิจัยนี้ เป็นโครงการที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการสร้างสื่อการเรียนการสอนแบบเรียนรู้ในยุค การศึกษา 4.0 ตามแนวประเทศไทย 4.0 ซึ่งมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อผสม รวมทั้งการ สื่อสารอื่น ๆ ที่มีความชาญฉลาด เช่นการใช้สมาร์ตโฟนมาช่วยในกิจกรรมการสอน ให้ผู้เรียนมีความสะดวก และเป็นศูนย์กลางแห่งการเรียนรู้ (student center)

“หุ่นยนต์ลอวนตัวนำยิ่งยวด” เป็นเพียงหน่วยการสาธิตและแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียน การสอนในยุค 4.0 ให้สอดคล้องกับนโยบายที่ตั้งกล่าวมาในข้างต้น โดยวิธีการแบบ STEAM โดยอาศัยการ สนธิองค์ความรู้ทางด้าน Science (วิทยาศาสตร์) Technology (เทคโนโลยี) Engineering (วิศวกรรมศาสตร์) Art (ศิลปะ) และ Mathematics (คณิตศาสตร์) [1] เข้าด้วยกันเพื่อใช้ในส่วนหนึ่งในการจัดการเรียนการสอนสาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โครงการนี้ไม่ได้มุ่งเน้นการสร้างเชิงอุตสาหกรรม หรือมุ่งสู่การค้นคว้าเป็นเลิศทางด้านวิทยาศาสตร์ แต่เป็นการบูรณาการศาสตร์ที่น่าสนใจและองค์ความรู้ที่ดึงดูดความสนใจ เช่น การเกิดสภาพความนำ ยิ่งยวดและการประยุกต์ใช้สัญญาณลอวน มาขับเคลื่อนในเชิงการศึกษา ผสานกับเทคโนโลยี AR ที่สามารถ ให้ข้อมูลในปริมิติไซเบอร์ เพื่อสาธิต “ความบันเทิงที่ควบคู่การเรียนรู้” โดยจะใช้ประเด็นในมิติทั้งสามนี้เป็น แนวทางนำเสนอในรายงานฉบับนี้

1.1 ภูมิหลัง

ต่อเนื่องจากเฟสที่แล้วที่คณะผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างภายใต้แนวคิด “หุ่นยนต์ต้นไม้” ซึ่งเป็น ต้นไม้เทียมที่เป็นหุ่นยนต์อันมีความสามารถเป็นผู้ช่วยสอนมัลติมีเดีย (Multimedia) ในเฟสนี้ ผู้วิจัยจะขยายผลสู่การนำระบบเทคโนโลยีโลกเสมือน (Virtual world) ที่ผสมผสานความเป็นโลกจริง (Real world) เข้าด้วยกัน หรือที่เรียกว่าเทคโนโลยี AR (Augmented reality) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งในทศวรรษที่ผ่านมาโลกแห่งเทคโนโลยีได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะเทคโนโลยีดิจิทัล ดังนั้นบทเรียน วิธีการสอน ตลอดจนเจตคติ และทักษะของผู้เรียนและ ผู้สอนย่อมต้องปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การสอนโดยใช้เพียง “ซอร์สและกระดานดำ” จึงไม่ตอบโจทย์การสอนด้านวิศวกรรมในปัจจุบัน ซึ่งผู้เรียนมีสิ่งเร้าภายนอกทั้ง จากสังคมออนไลน์และเกมส์ต่าง ๆ ทำให้ความสนใจในบทเรียน อีกทั้งความเข้าใจต่าง ๆ ลดทอนลงไป จากรายละเอียดที่ผู้สอนได้นำเสนอ วิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาในภาคปฏิบัติในการเรียนการสอนทาง วิศวกรรมก็คือ การจัดการศึกษาด้วยวิธี CDIO (Conceive, Design, Implement, and Operate) [2, 3] . ซึ่งเป็นจัดการศึกษาที่เน้นการผสมผสานทักษะที่อยู่ในโรงเรียนกับทักษะที่โรงงานต้องการ (Industrial needs) อย่างไรก็ตาม ในมุมมองจากโรงงาน ทักษะที่ต้องการนั้นเป็นทักษะที่เกิดจากการ ผสานองค์ความรู้หลากหลายศาสตร์ (interdisciplinary) การจัดการศึกษาเชิงเดี่ยวเพื่อแก้ปัญหาหน้าเดียวจึง ไม่ได้ตอบโจทย์ที่ทางอุตสาหกรรมนั้น ๆ ต้องการ

เพื่อตอบโจทย์ดังกล่าว การศึกษาทางวิศวกรรม ที่ใช้โปรเจกต์เป็นฐาน หรือ PBL (Project-based learning) [4,5] เป็นการรวมเอาศาสตร์ต่าง ๆ (multi-disciplinary) มาผสมผสานกัน (interdisciplinary) ให้ได้องค์ความรู้เป็นองค์บูรณาการระหว่างกันเพื่อแก้ปัญหาที่ประสบให้ถูกลง ตามเป้าประสงค์ ในการจัดการศึกษาแบบ PBL นั้น ผู้เรียนจะได้ใช้ทักษะเชิงวิศวกรรมในมิติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การออกแบบ การผลิต วิศวกรรมระบบ การสื่อสาร การคิดเชิงวิฤต (critical thinking) ความคิดสร้างสรรค์ และการทำงานเป็นทีม

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการออกแบบหุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวด ซึ่งเป็นตัวอย่างการสาธิต การศึกษาตามแนวทาง PBL ประสานกับหน่วยการเรียนรู้หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อสร้างการเรียนรู้ในมิติต่าง ๆ รวมโลกจริงและโลกเสมือนเข้าด้วยกัน อันมีแนวทางของการใช้ STEAM ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนมุ่งที่ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้แบบบูรณาการอันเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพโดยต่อยอดมาจากการศึกษาแบบ STEM [6] โดยอาศัยการสนธิองค์ความรู้ทางด้าน Science (วิทยาศาสตร์) Technology (เทคโนโลยี) Engineering (วิศวกรรมศาสตร์) Art (ศิลปะ) และ Mathematics (คณิตศาสตร์) ทั้งนี้เพื่อให้เยาวชนในทุกกระดับชั้นเกิดการเรียนรู้เพื่อเป็นผู้สร้างภูมิปัญญาสู่นวัตกรรมในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล (Digital economy)

การสาธิตวิธีการและกรอบคิดดังกล่าวข้างต้น คัดสรรเรื่อง หุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวด โดยอาศัยแนวทางเรียนรู้ตามแบบจำลองการเรียนรู้โดยเจาะจง (Intentional learning model) [6] และอาศัยระบบกายภาพผสานไซเบอร์ หรือ CPS (Cyber-physical system) [7] ซึ่งเป็นการบูรณาการณาระหว่างวิศวกรรมหุ่นยนต์ วัสดุศาสตร์ เคมี กลศาสตร์ควอนตัม อลวนศาสตร์ แม่เหล็กไฟฟ้า และอื่น ๆ เข้าด้วยกัน สาเหตุที่เลือกใช้ตัวนำยิ่งยวดมาเป็นปรากฏการณ์พื้นฐานในงานวิจัยนี้ เนื่องจากการดึงความสนใจผู้เรียนจากปรากฏการณ์ที่น่าสนใจหลายประการจากวัสดุนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ Meissner [8] ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ฟลักซ์แม่เหล็กถูกผลักออกจากสารที่อยู่ในสถานะนำยิ่งยวด ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งเป็นภาพที่ตัวนำยิ่งยวด (สีดำ) ลอยอยู่เหนือแม่เหล็กสีก่อน โดยรูปทางด้านขวามือแสดงถึงการเอียงแม่เหล็กและสามารถจัดให้อยู่ในลักษณะดังกล่าวได้เนื่องจากการเกิดการตรึงฟลักซ์ (flux pinned) อันเป็นปรากฏการณ์ตามคำอธิบายด้วยกลศาสตร์ควอนตัมในระดับมหภาค [9] ส่วนการสนธิความรู้ออลวนศาสตร์และเทคโนโลยีหุ่นยนต์ [10] นั้นเป็นการสาธิตการสร้างองค์ความรู้ใหม่ จากฐานองค์ความรู้เดิมที่มีอยู่แล้ว ทำให้ผู้เรียนต้องมีการค้นคว้าและฝึกการเชื่อมโยงองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่ได้เรียนมาเข้าด้วยกัน เหมาะสมกับการเตรียมทรัพยากรมนุษย์สอดคล้องกับนโยบายชาติในทิศทางการสร้าง “คนไทย 4.0” ซึ่งมีความสามารถในการผสมและใช้เทคโนโลยีในศาสตร์ต่าง ๆ ร่วมกับระบบดิจิทัลได้อย่างกลมกลืนและลงตัว



ภาพที่ 1.1 ปรากฏการณ์ Meissner [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

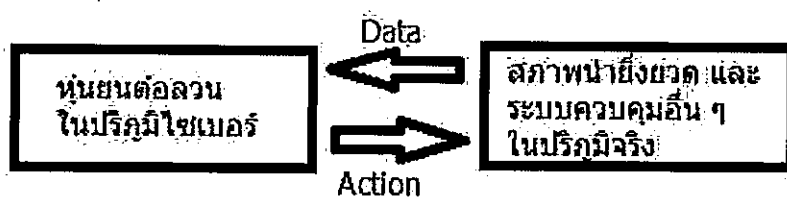
ออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์อลวนตัวนำยิ่งยวดแบบผสมผสานระหว่างระบบในปริภูมิจริง และในปริภูมิไซเบอร์สำหรับงานด้านการศึกษาด้านการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ใช้ตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงชนิด $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$ โดยมีอุณหภูมิวิกฤตที่ 110 K โดยใช้สร้างสภาพความนำไฟฟ้ายิ่งยวด โดยสามารถแสดงให้เห็นปรากฏการณ์ Meissner ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยอาศัยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ขนาดของความสูงและการประมวลผลภาพเพื่อสร้างหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ ถูกจำกัดด้วย marker ที่ใช้ในระยษะขนาดภาพที่ถูกออกแบบไว้เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงวิธีการใช้กล้องสำหรับภาพสองตา (binocular) อาจไม่สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมในระบบอื่นได้ ทั้งนี้ ผู้นำไปใช้ควรตรวจสอบตามแนวทางที่ได้เสนอแนะโดยอาศัยงานวิจัยนี้เป็นแนวทาง

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กรอบแนวคิดของโครงการอาศัยการดำเนินงานจากการประสานวิทยาการตัวนำยิ่งยวดเทคโนโลยีการประยุกต์สัญญาณอลวน และวิศวกรรมหุ่นยนต์ เพื่อมาบูรณาการสร้างองค์ความรู้ใหม่ กรอบแนวคิดในโครงการวิจัย มาจากโจทย์ที่จะต้องแก้ปัญหาเชิงเทคนิคว่าจะต้องสร้างอัลกอริธึมใดให้หุ่นยนต์ที่อยู่ในสภาพปรากฏการณ์ Meissner (ซึ่งเป็นชื่อที่ให้เกียรติแก่ Meissner ที่ค้นพบปรากฏการณ์ซึ่งเป็นสมบัติเชิงแม่เหล็กของสารตัวนำยิ่งยวดในปี ค.ศ. 1933) และจะต้องดำเนินการด้วยเทคนิคใดให้หุ่นยนต์ในสภาพลอยเหนือพื้นดินสามารถเคลื่อนที่ในกระสวนอลวนที่กำหนดให้ตามเป้าประสงค์ ซึ่งพบจากงานวิจัยนี้ในภายหลังว่า ตัวนำยิ่งยวดที่นำมาทำหุ่นยนต์เป็นวัสดุเซรามิกส์มีความเปราะ (fragile) ทำให้สามารถแตกหักได้โดยง่ายหากมีการหล่นลงมาจากสภาพที่ลอยเหนือพื้นเมื่อสภาพความนำยิ่งยวดหมดไปเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตขณะที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งจัดเป็นปัญหาเชิงเทคนิคที่นำไปสู่การประยุกต์ทางวิศวกรรมอีกหลายแขนงรวมทั้งระบบควบคุมวัตถุในสภาพเหนือรางท่ามกลางอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเยือกแข็งของน้ำ อันเป็นการจำลองสภาพต่ำกว่าจุดเยือกแข็งน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้การสร้างสภาพตัวนำยิ่งยวดใช้การหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวหรือฮีเลียมเหลว ซึ่งยังไม่มีผู้ใดควบคุมกระบวนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่มีส่วนผสมตัวนำยิ่งยวดตามปรากฏการณ์ Meissner ให้เคลื่อนที่แบบอลวนได้ ซึ่งเป็นปัญหาท้าทายทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงเทคนิคในงานวิจัยนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการแก้ปัญหาจากการเปราะบางของวัสดุตัวนำยิ่งยวดด้วยการใช้หุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์มาบูรณาการให้เกิดระบบแบบ CPS ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดระบบ CPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง แนวคิดของโครงการนี้เป็นการบูรณาการองค์ความรู้ในด้านการเรียนการสอนด้วยวิธีสื่อบันเทิง (Edutainment) โดยอาศัยความรู้ด้านวิศวกรรมสารสนเทศ และองค์ความรู้ด้านหุ่นยนต์อลวน (chaotic robots) เพื่อสร้างความบันเทิงให้ผู้เรียนควบคู่ไปกับการเรียนรู้ ที่เกิดจากการผสมผสานของโลกจริง (real world) และโลกเสมือนจริง (cyber world) เข้าด้วยกัน

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้แสดงในตาราง 1.1 โดยเปรียบเทียบแผนงานที่วางไว้ซึ่งแสดงโดยสัญลักษณ์ \longleftrightarrow โดยกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริงใช้สัญลักษณ์ *

ตาราง 1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง

กิจกรรม	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ขั้นการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literatures)	*	*											
2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ควบคู่ไปกับการสร้างฮาร์ดแวร์	*	*	*	*									
3. ออกแบบ เขียนซอฟต์แวร์และจำลองผลในข้อที่ 2 ด้วยคอมพิวเตอร์ และทดลองสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารโปรแกรมติดต่อสารสนเทศและควบคุม รวมทั้งทดสอบวัสดุประกอบต้นแบบ			*	*									
4. จัดทำรายงานความก้าวหน้า						*	*		*				
5. วิเคราะห์ระบบการทำงาน						*	*	*					
6. ทดลองใช้งานในพื้นที่และปรับแต่งพารามิเตอร์ระบบให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการปฏิบัติงาน					*	*	*	*	*	*	*		
7. สร้างต้นแบบสุดท้าย										*	*	*	
8. เขียนรายงานประจำปีและจดสิทธิบัตร												*	*

ในบทที่ 1 หรือบทนำนี้กล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัย ซึ่งยังไม่ได้ครอบคลุมการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

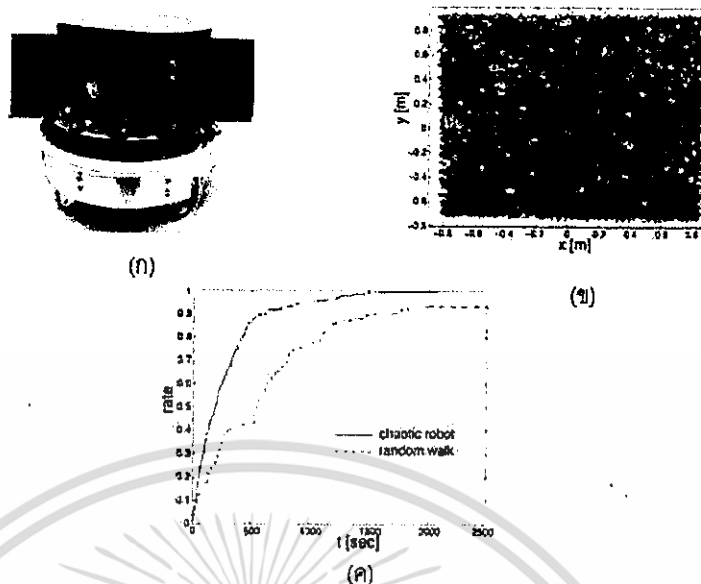
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้ นำเสนอแนวคิดวรรณกรรมหรือเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อความกลมกลืนในการบูรณาการองค์ความรู้ทั้งสามส่วนคือ ส่วนของวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ สัญญาณอลวน และสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวด และวรรณกรรมทางด้านการศึกษา ซึ่งมีเนื้อหาและเนื้อความในแต่ละส่วนเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงเลือกบททวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้าง โดยหาช่องว่างที่ไม่ซ้ำรูปแบบกับงานวิจัยหรือสิทธิบัตรเดิมที่มีอยู่ตั้งเป็นระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐาน โดยจะนำเสนอในส่วนบทความและสิทธิบัตรบางส่วนที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับงานวิจัยในอดีตเพื่อให้เห็นภาพเป็นองค์บูรณาการ (Integration of body-of-knowledge) [11-49] บางส่วนของวรรณกรรมจึงแทรกเพิ่มเติมจากรายงานความก้าวหน้าและที่ผ่านมาเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการอ่าน และตัดความซ้ำซ้อนของเนื้อหาที่ปรากฏในหนังสือหรือตำราทั่วไป ดังจะกล่าวถึงที่เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ดังนี้

2.1 เอกสารงานวิจัย

จากการสืบค้นและบททวนเอกสารงานวิจัยในส่วนที่เป็นบทความทั่วไป บทความวิจัย และสิทธิบัตรทั้งไทยและนานาชาติ โดยใช้คำสำคัญคือ หุ่นยนต์/robot + อลวน/chaos + ตัวนำยิ่งยวด/superconductor + วิศวกรรม/engineering + การศึกษา/education ไม่พบเอกสารใด ๆ ที่เหมือนกับโครงการนี้ มีเพียงบางส่วนที่คาบเกี่ยวกันบ้างเช่นหุ่นยนต์อลวน หรือหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาที่ผู้วิจัยเป็นผู้มีส่วนร่วมในการบุกเบิกงานวิจัยทางด้านนี้ โดยในระหว่างดำเนินการวิจัยโครงการนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมองค์ความรู้หุ่นยนต์อลวนจากประสบการณ์ทำวิจัยและการสอน และผลงานบางส่วนที่ได้จากงานวิจัยนี้มาเป็นหนังสือหุ่นยนต์อลวนเพื่อประกอบการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาทางด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง [11]

สำหรับความเป็นมาและภูมิหลังของหุ่นยนต์อลวนในรูปแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้น กล่าวไว้อย่างละเอียดใน [11] ในที่นี้ จะขอแนะนำเพื่อประกอบการอ่านรายงานวิจัยสำหรับผู้มีเวลาน้อยดังนี้ คำว่า "Chaotic robot" ปรากฏอย่างเป็นทางการในทางวิศวกรรมไฟฟ้าในการประชุมนานาชาติและวารสารนานาชาติ IEEE เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2001 (พ.ศ. 2544) นำเสนอโดย Sekiguchi และ Nakamura กลุ่มนักวิจัยชาวญี่ปุ่นแห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว (University of Tokyo) [12, 13] หุ่นยนต์ที่นำเสนอตัวแรกนี้แสดงต้นแบบในรูปที่ 1(ก) โดยมีวิถีการโคจรหรือทางเดินแบบกระสวนอลวนแบบ Arnold ซึ่งกระสวนอลวนแบบนี้เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีการโคจรวนรอบจุดดึงดูด (attractor) โดยเคลื่อนที่เหมือนกับการเคลื่อนที่ของควันทุหุรีที่เลื่อนลอยไปในอากาศ และเมื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนล้อหุ่นยนต์ในพื้นที่ 1x1 ตารางเมตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1.(ข) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปล่อยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ประมาณครึ่งชั่วโมง จะได้ผลดังในรูปที่ 1.(ค) ซึ่งยืนยันว่าหุ่นยนต์อลวนได้เคลื่อนที่ในอัตราการครอบคลุมวิถีโคจรดังแสดงเป็นกราฟเส้นที่บ ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าคู่เทียบที่ใช้การเดินแบบสุ่ม (random walk) ดังแสดงเป็นกราฟเส้นประ



รูปที่ 1. (ก) ต้นแบบหุ่นยนต์ออลานตัวแรกของโลก (ข) วิธีการโคจรของหุ่นยนต์ออลานในพื้นที่ 1x1 ตารางเมตร (ค) อัตราการครอบคลุมพื้นที่เทียบกับเวลาที่หุ่นยนต์ใช้ในการเคลื่อนที่แบบออลานและแบบสุ่ม (แหล่งที่มา ดัดแปลงจาก [1])

ผลงานวิจัยนี้บ่งชี้เป็นเหตุผลว่าทำไมหุ่นยนต์ชนิดนี้จึงมีความน่าสนใจ และทำไมจึงเลือกใช้วิถีโคจรแบบกระสวนอลานเมื่อวิศวกรต้องออกแบบหุ่นยนต์ที่ต้องเคลื่อนที่ไปในบริเวณที่ไม่มีแผนที่ที่ชัดเจน เช่น การใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในงานเก็บกู้ระเบิดสิ่งหารบุคคลตามแนวชายแดนระหว่างประเทศที่เคยมีความขัดแย้งกันหรือไม่ไว้วางใจกันมาก่อน และด้วยวิถีโคจรแบบออลานหุ่นยนต์ชนิดนี้จึงน่าสนใจในมิติทางด้านการศึกษา ซึ่งสามารถต่อยอดได้โดยง่ายจากการโปรแกรมกระสวนอลานหากใช้ซอฟต์แวร์เป็นตัวออกคำสั่งขับเคลื่อน (software-based) หรือนำวงจรออลาน (chaotic circuit) ต่อเข้ากับหุ่นยนต์ที่มีอยู่แล้ว (hardware-based) ซึ่งเป็นการขยายผลเทคโนโลยีนี้ให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้ความสามารถของหุ่นยนต์มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อการศึกษา เช่นอาจต่อระบบสร้างกระสวนอลานดังกล่าวกับหุ่นยนต์ ASIMO [14] และ AIBO [15] นอกเหนือจากการเป็นของเล่นเด็กแล้วหุ่นยนต์ดังกล่าวยังมีอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ในด้านอื่น ๆ อีก เช่น ในด้านการแพทย์ การสำรวจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านความบันเทิง ฯลฯ

หากเปรียบเทียบวิจัยค้นคว้าองค์ความรู้หุ่นยนต์ออลานเหมือนดังการแสวงหาเกาะกลางทะเล Sekiguchi และ Nakamura จักเสมือนนักเดินเรือที่พบเกาะใหญ่อันท้าทายให้สำรวจ งานวิจัยที่จัดเป็นการค้นพบเกาะบริหารรายล้อมเกาะใหญ่นั้น เริ่มจากงานต่อยอดการเคลื่อนที่แบบออลานโคจรอ้อมสิ่งกีดขวางที่อาจปรากฏในพื้นที่งาน (workspace) ซึ่งวิจัยโดย Bae และคณะ [16] ซึ่งเป็นนักวิจัยชาวเกาหลีใต้ในปี ค.ศ. 2003 (พ.ศ. 2546) โดยมีแนวคิดใช้กระสวนโคจรออลานแบบ Van der Pol สำหรับการหลบสิ่งกีดขวาง ในปีต่อมา (พ.ศ. 2547) คณะนักวิจัยชาวบราซิล [17] ได้เปลี่ยนรูปแบบกระสวนออลานแบบ Arnold ใน [12] มาเป็น Lorenz ซึ่งเป็นกระสวนออลานแบบมีจุดดึงดูดสองจุด ซึ่งกระสวนออลานแบบ Arnold นี้จะนำมาใช้ประยุกต์ในบทที่ 4 ในปีเดียวกันนั่นเอง หัวหน้าโครงการและคณะ [18, 19] ได้ทำการเปรียบเทียบกระสวนออลานแบบต่าง ๆ หลากหลายชนิดมากกว่า 128 รูปแบบ อาศัยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้เงื่อนไขเริ่มต้นต่าง ๆ กัน พบว่ากระสวนออลานแบบ Chua มีรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพราะให้กระสวนที่ครอบคลุมพื้นที่มากกว่ากระสวนอลวนในรูปแบบอื่น ๆ รวมถึงแบบ Arnold ยิ่งไปกว่านั้น การสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua นี้สามารถสร้างได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพียงไม่กี่ชิ้นโดยไม่ต้องอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) อีกทั้งวงจรอลวนแบบ Chua สามารถหาได้ง่ายจากตำราอลวนศาสตร์ (Chaos) ทั่วไป งานวิจัยทางด้านนี้ยังได้รับการสนใจ มีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมมิติต่าง ๆ ขององค์ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์ชนิดนี้มากขึ้น [20-26] จริงหรือไม่กับคำกล่าวที่ว่าวิศวกรรมจะไม่สมบูรณ์แบบหากปราศจากขั้นตอนของศิลปกรรมแห่งเทคโนโลยี (state-of-the-art) งานวิจัยประยุกต์หุ่นยนต์อลวนที่ขยายผลสู่การใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกหรือแก้ปัญหาให้สังคมจึงนับว่ามีคุณูปการไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์หรือค้นพบวิธีการสร้าง ซึ่งเป็นการขยายการใช้งานให้กว้างขวางขอบเขตการวิจัยออกจากห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลของประเทศ หรืออีกนัยหนึ่งการใช้หุ่นยนต์อลวนเพื่อการศึกษาทางการศึกษา

ในรูปแบบหุ่นยนต์ทางการศึกษาที่น่าสนใจนั้น มีงานวิจัยที่น่าสนใจกล่าวเป็นสังเขปได้ดังนี้ งานวิจัยของ Kozima และคณะ [27] นำเสนอหุ่นยนต์ขนาดเล็กเพื่อฝึกฝนการพัฒนาการสำหรับเด็กและในงานของ ต่อมา Chin และคณะ [28] ทำการพัฒนาหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนที่มีชื่อว่า Bioloid ที่ครูผู้สอนสามารถใส่โปรแกรมการสอนผ่านคอมพิวเตอร์ ล่าสุด Kim และคณะ [29] ได้พัฒนาหุ่นยนต์มีรูปร่างเหมือนไขชื้อว่า Enkey ซึ่งมีความสามารถมากขึ้น หุ่นยนต์ตัวนี้ทำหน้าที่ในการสอนภาษา โดยหุ่นยนต์สามารถโต้ตอบกับมนุษย์โดยแสดงอารมณ์ ต่าง ๆ เช่น ร่าเริง ไม่แสดงอารมณ์ หรือเสียใจ ผ่านทางหน้าจอแสดงผล งานของ Papert และคณะ [30] เน้นการที่让孩子สามารถเรียนรู้จากการออกแบบและการประกอบหุ่นยนต์ของตัวเอง ในงานของ Cooper และคณะ [31] เป็นการออกแบบหุ่นยนต์เพื่อเป็นผู้ช่วยสอนวิชาฟิสิกส์และคณิตศาสตร์

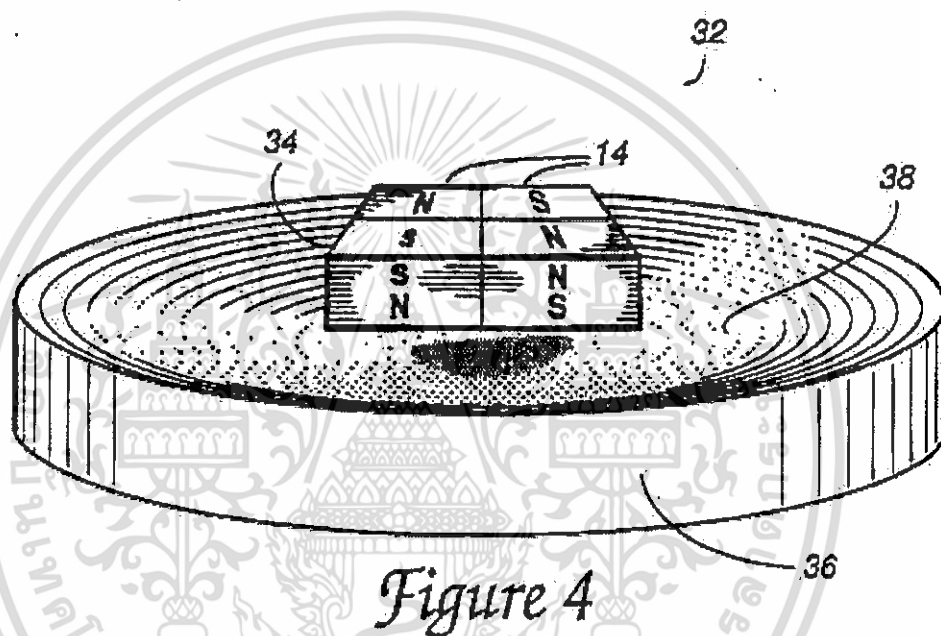
Chang และคณะ [32] พบว่าหุ่นยนต์ช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม และช่วยดึงดูดความสนใจของนักเรียน ช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา ตลอดจนช่วยสร้างความเพลิดเพลินของผู้เรียน หุ่นยนต์ช่วยเหลือด้านการเรียนการสอนในลักษณะดังกล่าวคิดค้นตั้งปรากฏในงานวิจัยของ Park และคณะ [33] โดยสร้าง ROBOSEM ทดลองใช้กับนักเรียนชั้นประถมในประเทศเกาหลีใต้ และงานวิจัยของ Chin และคณะ [34] ทดลองเปรียบเทียบการสอนโดยให้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนกับการสอนโดยการบรรยายที่ใช้สื่อการสอนแบบ Power Point กับนักเรียนสองชั้นเรียนระดับประถมศึกษาจำนวน 52 คน พบว่าการสอนโดยการใช้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนนั้นโดยภาพรวมดีกว่าการสอนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brown และ Howard [54] ที่ใช้หุ่นยนต์สังคมออนไลน์ หรือ Social Robot ในการสอนแบบ STEM ให้กับเด็กในการเรียนรู้ทางด้านภาษาศาสตร์อีกด้วย ซึ่งได้ผลดีกว่าการเรียนรู้แบบดั้งเดิม

ในปีนี้ (ค.ศ. 2017) Sullivan และคณะ [36] พบว่าการใช้หุ่นยนต์ KIBO ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ของเด็กได้เป็นอย่างดีช่วยให้ผู้เรียนมีจินตนาการ เรียนรู้และรักการคำนวณ เพิ่มทักษะด้านมิติสัมพันธ์ และเพิ่มทักษะทางด้านวิศวกรรมโดยผู้เรียนจะบูรณาการองค์ความรู้ทางการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การใช้ตัวรับรู้ (sensor) และตัวขับเคลื่อน (actuator) ตลอดจนการใช้วัสดุได้เป็นอย่างดี จะเห็นได้ว่ารูปแบบการสอนให้เกิดความคิดสร้างสรรค์โดยใช้หุ่นยนต์เป็นที่ยืนยันว่ามีนัยสำคัญต่อการเพิ่มความสามารถทางการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี การสอนเพื่อกระตุ้นการเรียนรู้ด้วยเทคนิค STEAM และ STEM ยังคงได้รับความนิยมาอย่างต่อเนื่อง แม้กระทั่งการสอนด้วยวิธีการภาพยนตร์เพื่อช่วยเพิ่มพูนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เอกสารสิทธิบัตร

เมื่อใช้คำสำคัญในการตรวจสอบเอกสารสิทธิบัตรนานาชาติ robot+superconductor ไม่พบเอกสารสิทธิบัตรใดอ้างสิทธิการประดิษฐ์ เอกสารสิทธิบัตรที่อ้างวัสดุและสมบัติเชิงฟิสิกส์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสมบัติและรูปร่างของตัวนำยิ่งยวดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มากที่สุดคือ US Patent หมายเลข 5,396,136 เผยแพร่เป็นทางการในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งอ้างข้อถือสิทธิ์ของการสร้างโครงสร้างที่แม่เหล็กถาวร (permanent magnet) มีอันตรกิริยา (interaction) กับแม่เหล็กไดอา (diamagnet) โดยรูปและความคล้ายที่ใกล้เคียงกันที่สุดกับรูปที่จะแสดงต่อไปในบทที่ 4 นั้น เป็นภาพ Figure 4 ของเอกสารสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกาที่ตั้งแสดงในภาพที่ 2.1 [38]



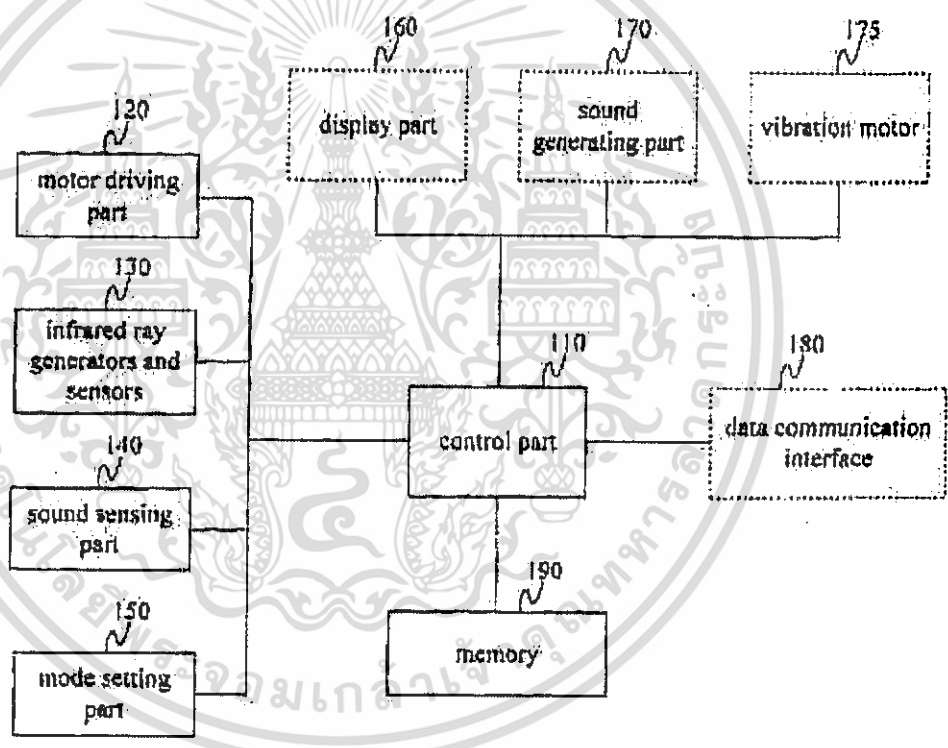
ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงมุมมองสิ่งประดิษฐ์ในรูปที่ 4 ของ US Patent หมายเลข 5,396,136 [38]

อย่างไรก็ตามเอกสารนี้อ้างสิทธิการสร้างสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการทางกายภาพ ไม่มีการระบุข้อบ่งชี้ใดๆ ในการสงวนสิทธิการใช้ หากมีการดัดแปลงในปฏิภูมิไซเบอร์ซึ่งถือว่าเป็นช่องว่างของการประดิษฐ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพราะสิ่งประดิษฐ์มีข้อบ่งชี้อย่างชัดเจนเฉพาะในปฏิภูมิจริงเท่านั้น

เอกสารสิทธิหุ่นยนต์ที่แชร์ข้อมูลสังคมออนไลน์ร่วมกันจัดโดยบริษัท Google [39] เป็นเอกสารสิทธิอีกชิ้นที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างหุ่นยนต์ในระบบโลกจริง ผ่านการควบคุมโดยโปรแกรมในโลกเสมือน โดยหุ่นยนต์สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันและรูปแบบพฤติกรรมของตัวเองได้เมื่อตัวหุ่นยนต์แต่ละตัวในพื้นที่ต่างกันรวบรวมข้อมูลผ่านตัวตรวจรับ (sensors) จากสิ่งแวดล้อมและปรับตัวตามสภาพข้อมูลที่ได้เพื่อส่งสัญญาณไปปรับพารามิเตอร์ในตัวขับเคลื่อน (actuator) ให้ปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการควบคุมตามสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้หุ่นยนต์ที่อยู่ในสถานที่ต่าง ๆ กันในระยะไกลมีการแชร์ข้อมูลกัน อย่างไรก็ตามสิทธิบัตรนี้ ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงกรณีสลับกัน คือหุ่นยนต์อยู่ในปฏิภูมิไซเบอร์โดยอยู่ในสิ่งแวดล้อมในโลกจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

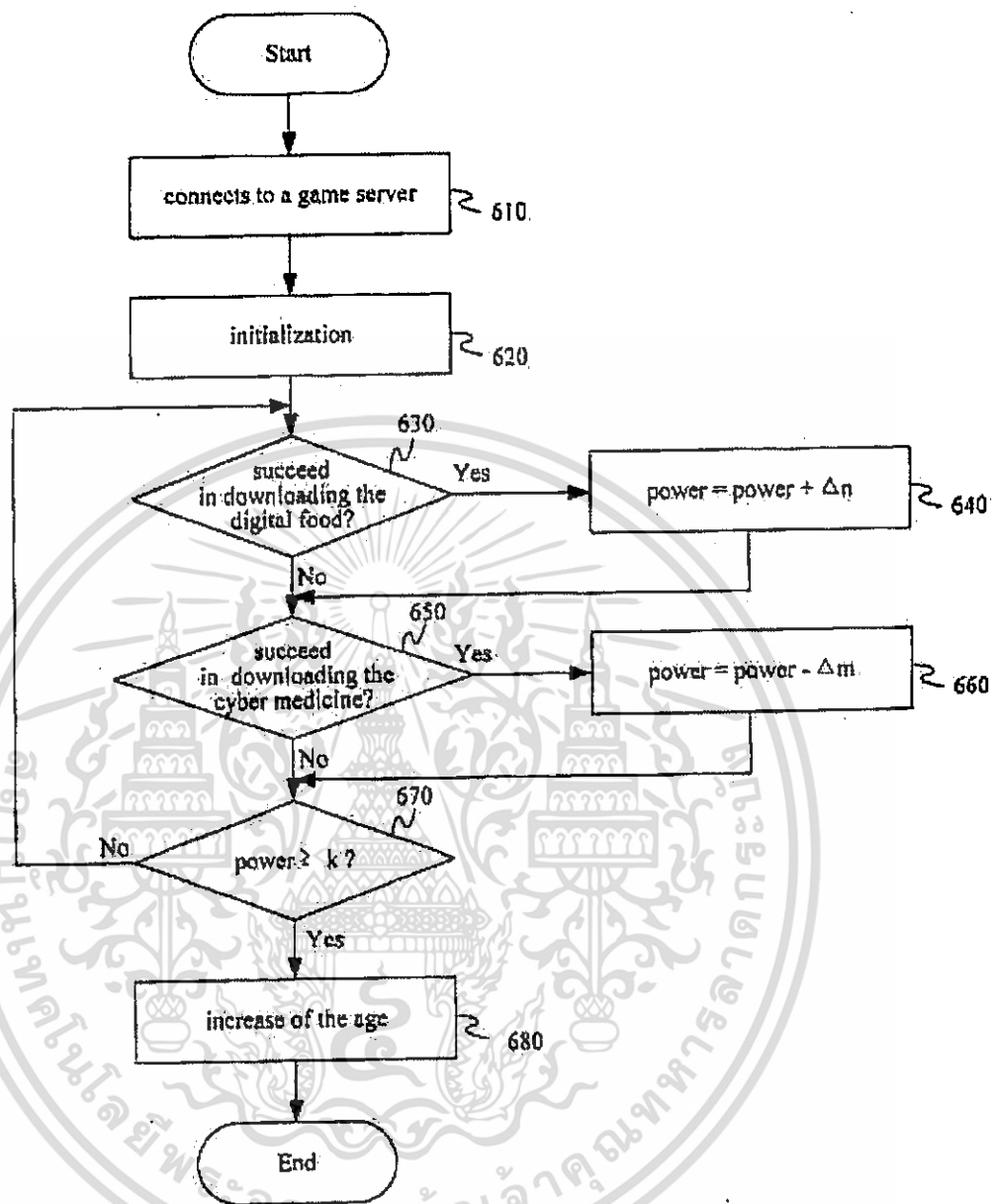
เมื่อค้นด้วยคำสำคัญ robot+chaos/chaotic ไม่พบเอกสารสิทธิที่เกี่ยวข้องโดยตรง มีเพียงเอกสารหลายชิ้นที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการสร้างสัญญาณอลวนและนำไปใช้เป็นตัวรับรู้ของหุ่นยนต์ ซึ่งไม่มีสิ่งใดน่าสนใจที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การเลียนแบบด้วยแรงบันดาลใจจากธรรมชาติมักช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรมเสมอมา (Bio-inspired design) พบว่า เอกสารสิทธิข้างเคียงที่น่าสนใจคือ intelligent Pet Robot ซึ่งจดโดย Rhee เมื่อวันที่ 25 เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 2002 เป็นการจดโครงสร้างการทำงานแบบ CPS โดยมีข้อถือสิทธิการป้อนอาหารไซเบอร์กับหุ่นยนต์ที่ปรากฏทางกายภาพ โครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงอัจฉริยะนี้แสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งส่วนที่ระบุในภาพ ซึ่งกำหนดหมายเลข (180) เป็นหน่วยเชื่อมต่อกับปริภูมิไซเบอร์ มีตัวรับรู้ต่าง ๆ ซึ่งเป็นความสามารถของสัตว์เลี้ยงดิจิทัลในรูปแบบของหุ่นยนต์ที่สามารถรับรู้ตัวรังสีอินฟราเรดและเสียง หุ่นยนต์สามารถรับรู้ว่ามีมนุษย์อยู่ใกล้โดยอาศัยตัวรับรู้อินฟราเรดซึ่งทำให้หุ่นยนต์ตอบสนองในทิศทางที่มีวัตถุอยู่ได้อย่างถูกต้อง โดยมีฟังก์ชันการทำงานที่ผู้เลี้ยงสามารถใช้การตบมือเพื่อสื่อสารกับหุ่นยนต์ผ่านตัวรับรู้เสียง



ภาพที่ 2.2 แผนผังในรูปที่ 1 ของ US Patent หมายเลข 20020098879 [40]

นอกจากนี้ ยังมีส่วนที่น่าสนใจคือ แผนผังการป้อนอาหารและยาไซเบอร์กับหุ่นยนต์กายภาพดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แผนผังในรูปที่ 11 ของ US Patent หมายเลข 20020098879 [40]

จะเห็นได้ว่าการป้อนอาหารที่ฝังการทำงานในภาพที่ 2.3 นั้น เมื่อหุ่นยนต์ได้รับอาหารกำลังหุ่นยนต์จะเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก Δn และหากป่วยต้องบ่อนยา กำลัง (power) ของหุ่นยนต์จะลดลงไปอีก Δm โดย m และ k เป็นกำลังที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจากกำลังเดิม

อย่างไรก็ตาม ข้อถ้อยคำนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงกรณีการสลับระหว่างหุ่นยนต์ไซเบอร์ และอาหารหรือยาทางกายภาพ ดังนั้น จึงเป็นช่องว่างของสิทธิบัตรที่จะสามารถต่อยอดได้ ดังจะนำมาเป็นเค้าโครงหรือแนวทางในโครงการวิจัยนี้ต่อไป ดังจะกล่าวในบทที่ 3 และ บทที่ 4 ถัดไป

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้เริ่มจากระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงานพอเป็นสังเขปซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 3.1 ดังนี้และแสดงส่วนการดำเนินงานสรุปเนื้อหาส่วน STEAM อันเป็นส่วนของการนำร่องแสดงในหัวข้อ 3.2 แนวทางที่ได้จากบทนี้ใช้เป็นระเบียบในการดำเนินงานสู่ผลในบทที่ 4 ต่อไป

3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงานโดยสังเขป

หัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล ซึ่งการดำเนินการวิจัยเป็นไปตามมาตรฐานการดำเนินการที่ใช้กันทั่วไปในทางวิศวกรรมศาสตร์ ดังนี้คือ

(ก) สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการดังแสดงในบทที่ผ่านมา โดยอาศัยแนวทางในบทที่ 2 ที่ผ่านมาจะเห็นว่าช่องว่างที่ควรเติมเต็มเพื่อไม่ให้เกิดการซ้ำซ้อนกับเอกสารงานวิจัยและเอกสารสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง จึงศึกษาในแนวทางการใช้สิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นำยิ่งยวดเป็นฐานทางกายภาพ ส่วนในปริภูมิไซเบอร์จะใช้หุ่นยนต์ไซเบอร์มาเป็นฐานในการพิจารณาและขับเคลื่อนด้วยวิถีโคจรแบบอลวน

(ข) สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ขนานไปกับการกำหนดคุณสมบัติฮาร์ดแวร์
เนื่องจากแบบจำลองของสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมินั้นยังไม่มีผู้ใดอธิบายแบบจำลองเชิงทฤษฎีได้ถูกต้องครอบคลุมในทุกปรากฏการณ์ ในที่นี้จะอาศัยทฤษฎีที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจในโครงการนี้ เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ Meissner เท่านั้น

(ค) ออกแบบระบบควบคุมและสื่อสารของหุ่นยนต์ควบคู่กับการเขียนซอฟต์แวร์
ในที่นี้การระบบควบคุมใช้ทฤษฎี Petri Net มาใช้ในการเปลี่ยนเหตุการณ์สลับระหว่างปริภูมิไซเบอร์และปริภูมิจริง โดยใช้เทคโนโลยี AR เป็นการแสดงผล

(ง) ทดลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบ
ในขั้นนี้ จะวิเคราะห์การทำงานของระบบในภาพรวมและในองค์ประกอบย่อย และปรับพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งาน

(จ) ทดลองและประเมินผลหากยังไม่ได้ตามเกณฑ์ประเมินกลับไปทำข้อ (ค) และ (ง) ใหม่จนปรับแต่งจนได้ต้นแบบสมบูรณ์

เพื่อความกระชับของเนื้อความ ขั้นตอน (ก)-(ง) จะกล่าวถึงโดยนำเสนอแทรกในเนื้อหาต่อไปในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินการเรียนรู้ตามแบบ STEAM

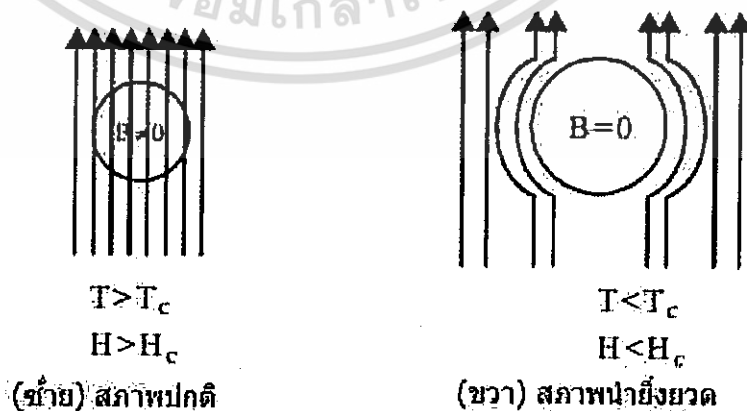
ในหัวข้อ 3.1 ที่ผ่านมาแล้วนั้นเป็นระเบียบวิธีวิจัยที่เป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป ในหัวข้อนี้จะนำเสนอระเบียบวิธีซึ่งเป็นวิธีการเสมือนการนำร่องนำระบบ CPS ที่ออกแบบและสร้างตามหลักการเรียนรู้แบบ STEAM ซึ่งเป็น PBL มาใช้โดยในที่นี่จะเห็นได้โดยง่ายจากการทำแผนที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง STEAM กับระเบียบวิธีวิจัยดังกล่าวข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ข้อที่มีเครื่องหมายกากบาท x เป็นการแสดงความสัมพันธ์

ตาราง 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธีวิจัยในหัวข้อ 3.1 กับ STEAM

ระเบียบวิธี	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)
S	x	x	x	x	
T	x	x	x	x	x
E	x	x	x	x	x
A					x
M		x	x	x	

3.2.1 S-Science

ในหัวข้อย่อยนี้ จะกล่าวถึงสภาพนำยิ่งยวดซึ่งเป็นสภาพที่ความต้านทานของตัวนำยิ่งยวดมีค่าเท่ากับศูนย์ ($R=0$) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากกราฟวัดค่าความต้านทาน สมบัติฟิสิกส์ของตัวนำยิ่งยวดนี้ ค้นพบครั้งแรกโดย Kamerlingh Onnes ในปี ค.ศ. 1911 จากการหล่อเย็นปรอทด้วยฮีเลียมเหลว โดยพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 4.2 K ความต้านทานของปรอทมีค่าเท่ากับศูนย์ [41]. ต่อมาเมื่อค้นพบสารตัวนำยิ่งยวดชนิดอื่น ๆ ทั้งที่เป็นโลหะบริสุทธิ์และเป็นสารประกอบ และใน 22 ปีต่อมา คือในปี ค.ศ. 1933 Meissner และ Ochsenfeld พบปรากฏการณ์สำคัญที่สามารถใช้ทดสอบความเป็นตัวนำยิ่งยวดได้ นั่นคือสมบัติความเป็นแม่เหล็กไดอา ซึ่งเกิดจากการผลักฟลักซ์แม่เหล็กออกจากตัวของสารตัวนำยิ่งยวดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต ดังแสดงในภาพที่ 3.1 [41,42] ซึ่งรู้จักกันในนามปรากฏการณ์ Meissner



ภาพที่ 3.1 ความเป็นแม่เหล็กไดอาของตัวนำยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้น ในปี ค.ศ. 1957 Bardeen, Cooper, และ Schrieffer สามารถอธิบายปรากฏการณ์ฟิสิกส์ของการเกิดสภาพตัวนำยิ่งยวดได้โดยอาศัยกลศาสตร์ควอนตัมขั้นสูง เสนอทฤษฎี BCS (BCS theory) ซึ่งเป็นชื่ออักษรตัวหน้าของนักฟิสิกส์ทั้งสามท่าน และต่อมาได้รับรางวัลโนเบลจากการค้นพบดังกล่าว ทฤษฎีนี้อธิบายว่าการที่สภาพตัวนำยิ่งยวดเกิดขึ้นได้มีผลมาจากการที่อิเล็กตรอนเกิดการจับคู่กัน (electron pair หรือ Cooper pair) โดยอาศัยอันตรกิริยาโฟนอน ซึ่งการเกิดคู่อิเล็กตรอนนี้จะเกิดเมื่อหลอเย็นสารตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature, T_c) ตามทฤษฎีนี้ทำนายว่าอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดจะไม่เกิน 30 K แต่ในปี ค.ศ. 1986 ได้มีการค้นพบตัวนำยิ่งยวดจากสารประกอบประเภทเซรามิกที่มีส่วนผสมจากธาตุหายาก (rare earth) ประเภท La-Sr-Cu-O ที่มีอุณหภูมิวิกฤตที่ประมาณ 30-40 K นับแต่นั้นฟิสิกส์จึงเรียกตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30K ว่า “ตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature superconductor)” และที่สูงกว่า 30 K ว่า “ตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง (High-temperature superconductor)”

ต่อมาในปี ค.ศ. 1987 Paul Chu จาก University of Houston, Texas พบว่าเซรามิกที่ทำมาจากสารประกอบของ Y-Ba-Cu-O มีสภาพตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิวิกฤตที่ 90 K [42] และในปีถัดมามีผู้พบตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจากสารประกอบประเภท Bi-Sr-Ca-Cu-O ที่อุณหภูมิวิกฤต 110 K ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะใช้ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_4$ เป็นสารตัวนำยิ่งยวด ซึ่งแสดงสมบัติความเป็นตัวนำยิ่งยวดจากปรากฏการณ์ Meissner ดังภาพที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าแม่เหล็กถูกลอยเต่าถูกผลักให้ลอยอยู่กลางอากาศ โดยสารประกอบ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_4$ ที่ทดลองในภาพนี้หล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีสารชนิดใดมีอุณหภูมิวิกฤตที่มีค่าสูงกว่านี้มากนักอาจมีรายงานวิจัยที่แสดงค่าอุณหภูมิวิกฤตที่พบว่าสูงที่สุดในสภาพที่เสถียรจากสารประกอบประเภทไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S ที่ 230 K (ที่ความดัน 150 GPa) [43] นักฟิสิกส์ยังคงหวังว่าจะมีการค้นพบสารตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิห้อง ยังเป็นเรื่องท้าทายและรอการค้นพบทั้งในส่วนของทฤษฎีที่สมบูรณ์และการทดลอง

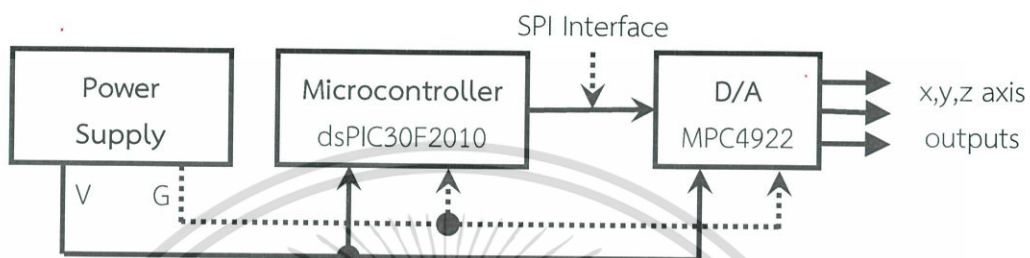


ภาพที่ 3.2 ปรากฏการณ์ Meissner ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

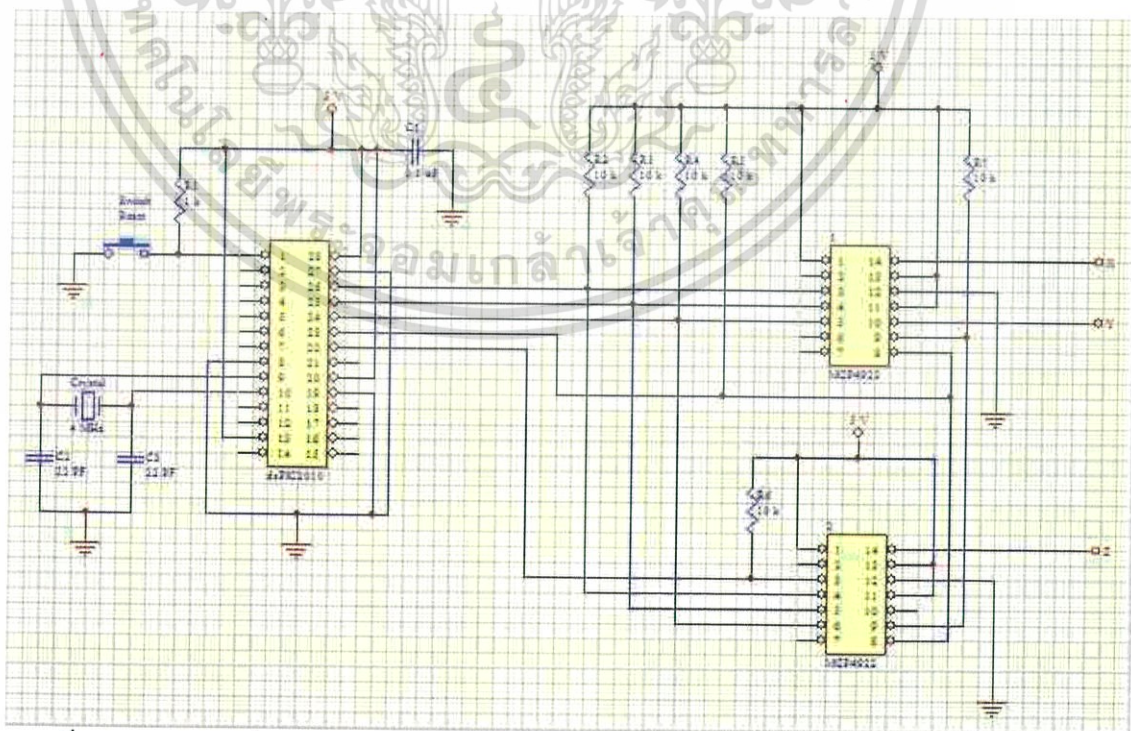
3.2.2 T-Technology

ในโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ในการคำนวณสร้างสัญญาณอนาล็อกเพื่อใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้มีวิถีโคจรตั้งที่ต้องการ และ MCP4922 ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A : digital-to-analog) ในการวิจัย และใช้โปรแกรม MPLAB ในการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ การเก็บข้อมูลผ่านอุปกรณ์ DAQ รุ่น USB-6009 เขียนรูปอย่างง่ายได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ฮาร์ดแวร์การสร้างสัญญาณอนาล็อกเพื่อปรับค่าให้โปรแกรมระบบ AR

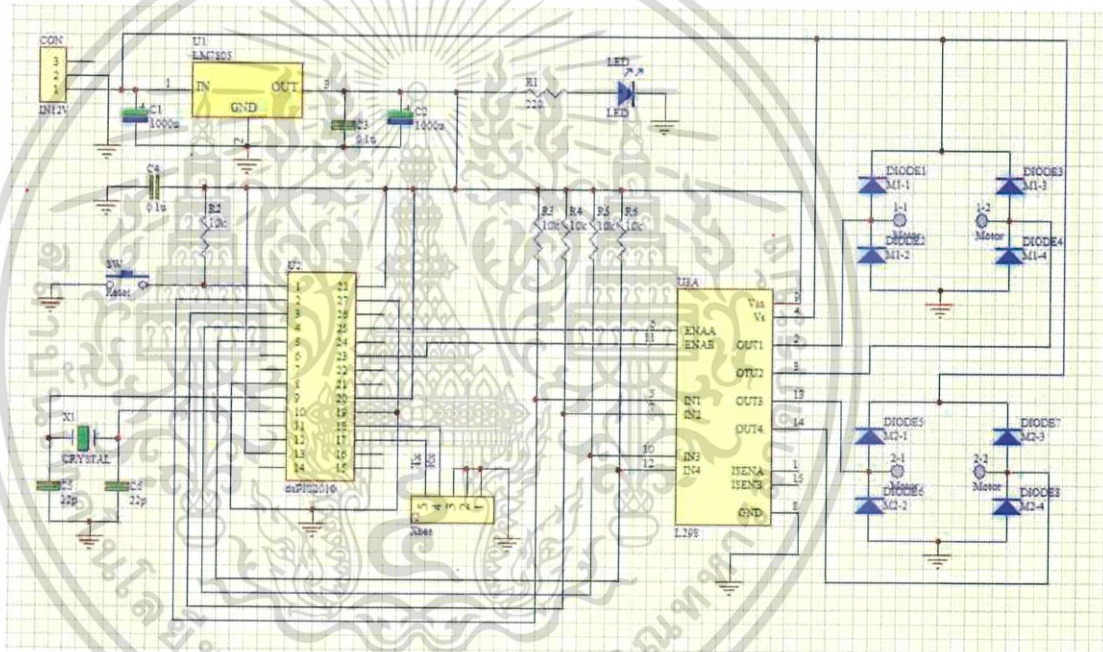
การทำงานของฟังก์ชัน MPC4922 เพื่อส่งค่าให้กับ MPC4922 โดยเริ่มจากการแปลงค่าที่รับมาเป็นเลขฐานสิบหก แล้วทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่าที่ส่งไปนั้นเป็นค่าของ x, y หรือ z เพื่อเลือกว่าจะให้ MPC4922 ตัวใดทำงาน จากนั้นใช้ DAQ รุ่น USB-6009 ในการเก็บค่าและใช้ออสซิลโลสโคปในการเก็บภาพการเกิดสัญญาณอนาล็อกเพื่อนำไปวิเคราะห์และใช้กับฟังก์ชันที่เขียนโปรแกรมให้หุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ ในการสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อไปปรับค่าซอฟต์แวร์นั้น ได้ทำการออกแบบวงจรใน Protel 99SE ดังแสดงในภาพที่ 3.4



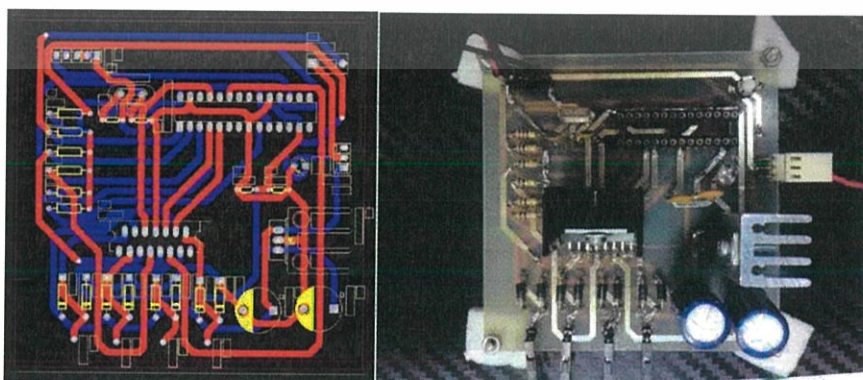
ภาพที่ 3.4 แบบวงจรกำเนิดสัญญาณอนาล็อกเขียนด้วย Protel 99SE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.4 ขาสัญญาณ x, y, z ที่คำนวณได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 คือขา RE1-RE3 หรือขา 23-25 ต่อเข้ากับ ขา SCK,SDI และ LDAC หรือขา 4,5 และ 8 ของ MCP4922 ทั้ง 2 ตัว ตามลำดับ แล้วต่อขาเลือกแปลงสัญญาณ x และ y คือขา RE0 หรือขา 26 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เข้าขา CS หรือขา 3 ของ MPC4922 ตัวแรก และต่อขาเลือกแปลงสัญญาณ z คือขา RE4 หรือขา 22 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เข้าขา CS หรือขา 3 ของ MPC4922 ตัวที่สอง แล้วต่อตัวกำหนดสัญญาณนาฬิกา 4 MHz เข้าขา CLKI และ CLKO หรือขา 9 และ 10 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 และเอาต์พุตหลังแปลงสัญญาณของ MPC4922 โดยสัญญาณ x คือขา 14 ของ MPC4922 ตัวแรกสัญญาณ y คือขา 10 ของ MPC4922 ตัวแรก และสัญญาณ z คือขา 14 ของ MPC4922 ตัวที่สอง ซึ่งวงจรที่ได้จะต้องนำมาต่อกับวงจรขับเร้าแบบ H-bridge เพราะต้องการขับล้อหุ่นยนต์โดยอาศัยโครงสร้างทางกายภาพแล้วแปลงไปเป็นหุ่นยนต์ไฮเบอร์เพื่อจำลองสภาพเสมือนจริง ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และได้ต้นแบบวงจรดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 แบบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนต่อกับวงจรขับเร้าแบบ H-bridge

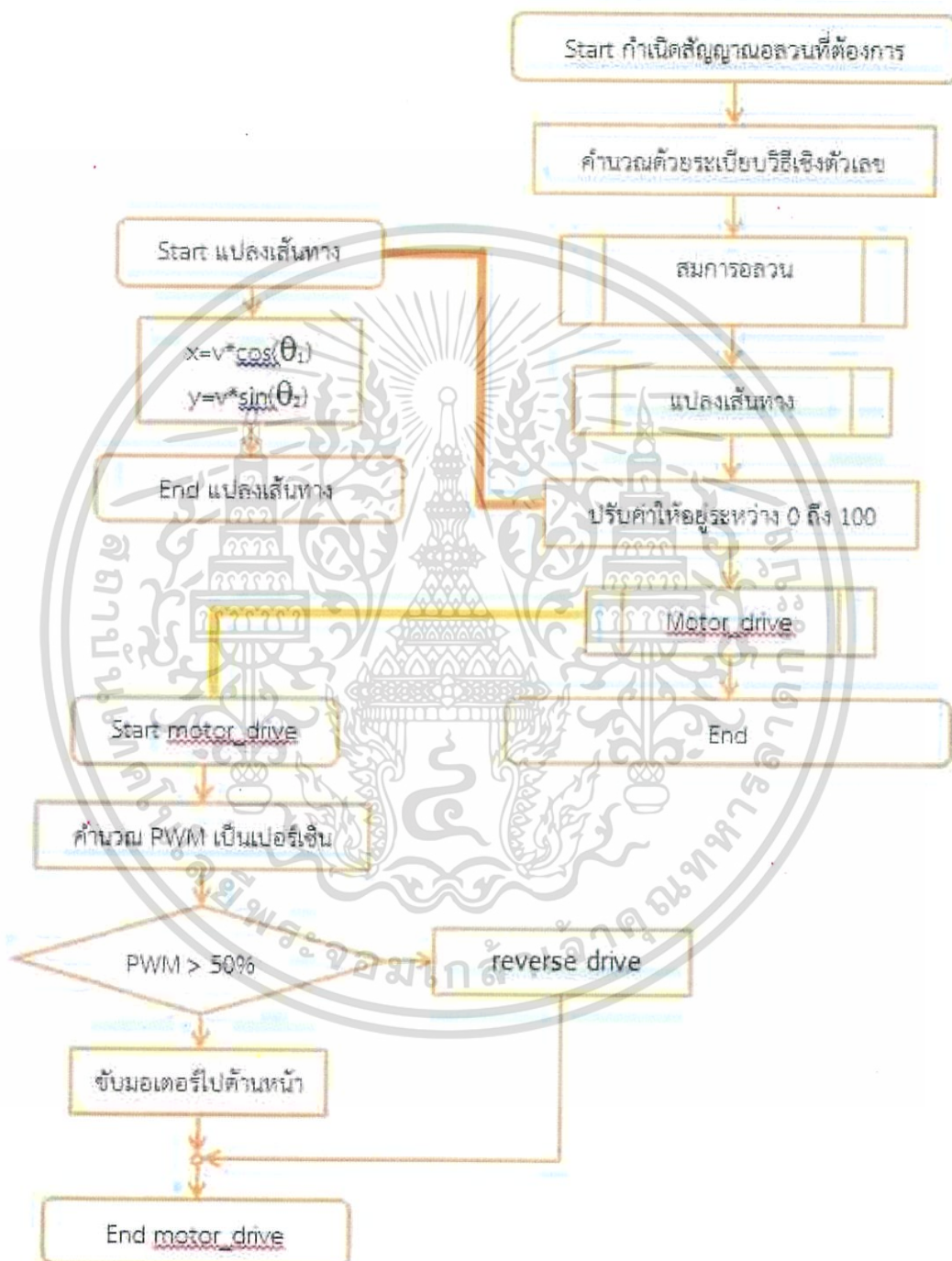


ภาพที่ 3.6 ต้นแบบวงจรกำเนิดสัญญาณขับเร้าแบบ H-bridge (ซ้าย) แบบ PCB (ขวา) สร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 E-Engineering

ในส่วนวิศวกรรมการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เป็นแบบกระสวนอลวนนั้น ออกแบบผังการเขียนโปรแกรมดังภาพที่ 3.7 เพื่อจำลองวิถีโคจรอลวนเพื่อใช้ขับเคลื่อนฮาร์ดแวร์ในหัวข้อย่อย 3.3.2 ที่ผ่านมา



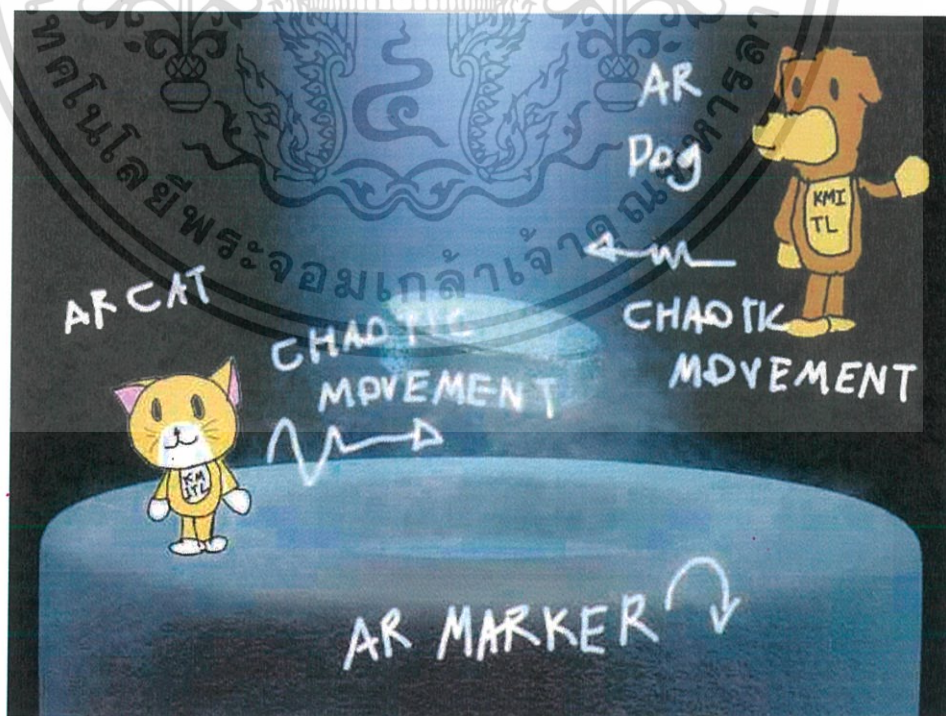
ภาพที่ 3.7 แผนผังการทำงานซอฟต์แวร์เพื่อกำเนิดวิถีโคจรหุ่นยนต์อลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 A-Art

เนื่องจากการใช้ตัวนำยิ่งยวดเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ทั้งหมดจะทำให้เกิดความสั่นเปลี่ยงต่อการหล่อเย็นโดยใช้ไนโตรเจนเหลวมาก จึงไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้ตัวนำยิ่งยวดเป็นโครงสร้างทั้งหมด เนื่องด้วยตัวนำยิ่งยวดในยุคปัจจุบันจะต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว ทำให้ระบบการหล่อเย็นไม่เหมาะกับการบรรจุเข้าไปในโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ ส่วนการจะใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์ Meissner นั้น หากให้โครงสร้างหุ่นยนต์เป็นแม่เหล็กขนาดเล็ก การตรึงฟลักซ์แม่เหล็กก็จะทำให้แม่เหล็กที่ถูกตรึงไม่อาจเคลื่อนที่ได้ ดังนั้น ในที่นี้เพื่อให้เกิดการบูรณาการในพหุศาสตร์จึงควรนำความรู้ Augmented Reality มาผสมให้เกิดหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ (cyber space)

และเนื่องจากจุดประสงค์การสร้างหุ่นยนต์ตัวนำยิ่งยวดนี้ เน้นไปที่การศึกษาทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นจึงเน้นไปที่ระบบการสอนแบบ STEAM ซึ่งเป็นพหุศาสตร์ผสมระหว่าง Science, Technology, Engineering, Art และ Mathematics ดังนั้น ปริภูมิกายภาพ (physical space) และ ปริภูมิไซเบอร์ จึงเป็นอันตรกิริยาระหว่างหุ่นยนต์ที่อาศัยการสัญญาณอลวน (chaotic signals) เป็นตัวขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ อันได้มาจากการใช้สภาวะจริงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อย่อย S-T-E ซึ่งในส่วนแนวคิด A จะแสดงภาพแนวคิดของระบบเป็นสิ่งขบถด่างภาพที่ 3.8 ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมโยงกับศิลปะที่มีการเล่าเรื่อง (story telling) เป็น “Chaos of Cat and Dog” ซึ่งเป็นการแสดงแนวคิดเบื้องต้น เป็นแนวทางในการศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะใช้สภาวะนำยิ่งยวดมาเป็น marker ให้กับการส่งค่าผ่านการแสดงภาพ AR ที่มีการเคลื่อนที่อลวนตามกระสวนที่กำหนดให้ โดยกระสวนอลวนดังกล่าวสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเรื่องราวของตัวละครหรืออาจอยู่ในรูปสัตว์เลี้ยงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบทที่จัดแสดงให้เคลื่อนที่ได้ตามสมการหรือฟังก์ชันที่เขียนด้วยภาษา C# ในที่นี้ กำหนดให้ผู้เรียนเป็นผู้เขียนโปรแกรมการเคลื่อนที่ผ่านสมาร์ตโฟนได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 3.8 แนวคิดระบบ CPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 M-Mathematics

สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทดลองจะใช้สมการในปริภูมิสามมิติจากบทที่ 2 ของหนังสือหุ่นยนต์
อลวน [11] โดยมีรูปสมการที่ใช้ทดสอบแสดงเป็นสังเขปได้ดังนี้

สมการ Lorenz

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y-x) \\ \frac{dy}{dt} &= \rho x - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z\end{aligned}$$

ค่าพารามิเตอร์ของ Lorenz ที่ใช้ $x_0 = -1.0, y_0 = 3.0, z_0 = 4.0, \sigma = 10, \rho = 28, \beta = 8/3$

สมการ Chen

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= a(y-x) \\ \frac{dy}{dt} &= (c-a)x - xz - cy \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}$$

ค่าพารามิเตอร์ของ Chen ที่ใช้ $x_0 = -1.0, y_0 = 3.0, z_0 = 4.0, a = 35, b = 3, c = 28$

สมการ Chua

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha[y - x - f(x)] \\ \frac{dy}{dt} &= x - y + z \\ \frac{dz}{dt} &= -\beta y\end{aligned}$$

$$x_0 = 0.1, y_0 = 0.1, z_0 = 0.1$$

ค่าพารามิเตอร์ของ Chua ที่ใช้ $f(x) = m_1 x + \frac{1}{2}(m_0 - m_1)(|x+1| - |x-1|)$

$$\alpha = 15.6, \beta = 25.58, m_0 = -8/7, m_1 = -5/7$$

สมการ Rossler

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -y - z \\ \frac{dy}{dt} &= x - ay \\ \frac{dz}{dt} &= b + z(x - c)\end{aligned}$$

ค่าพารามิเตอร์ของ Rossler ที่ใช้ $x_0 = 1.0, y_0 = 1.0, z_0 = 1.0, a = 0.1, b = 0.1, c = 14$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทถัดไปเป็นการนำเสนอผลการวิจัยโดยจะนำกรอบแนวคิดที่ได้จากบทที่ผ่านมา ร่วมกับระเบียบวิธีวิจัยและแนวคิดการเรียนรู้แบบ STEAM ในมิติของการสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อกำหนดซอฟต์แวร์กำหนดในรูปแบบระบบ CPS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

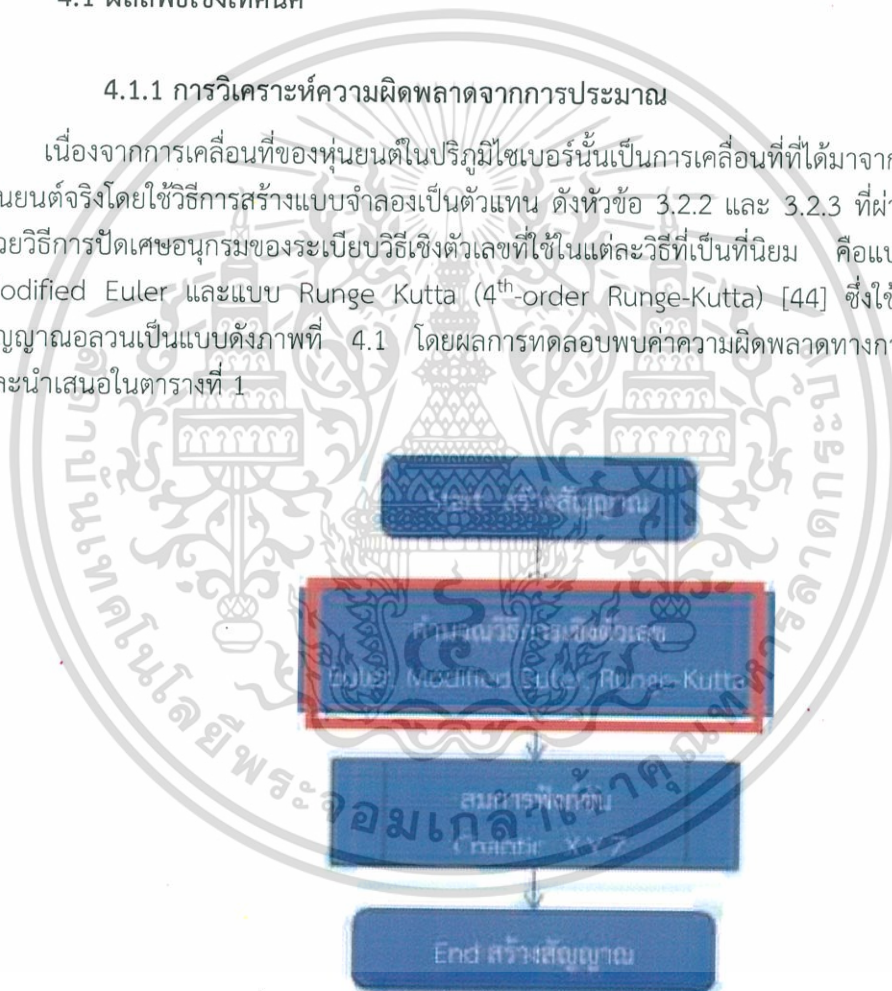
บทที่ 4 ผลการทดลอง

บทนี้รายงานผลการวิจัย จากการทำการรวมกรณีศึกษาในบทที่ 2 พบช่องว่างของประเด็นว่าหาก โจทย์วิจัยที่ใช้ในรูปแบบ CPS มาช่วยในเนื้อหาหุ่นยนต์ต่อลวดผลสานกับตัวนำยิ่งยวดนั้น ยังเป็นประเด็นใหม่ที่น่าสนใจ บทนี้อาศัยบทที่ 3 เป็นแนวทางในการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจุดมุ่งหมายบางส่วนของ การวิจัยเป็นการสร้างทรัพย์สินทางปัญญา ผู้วิจัยขอสงวนสิทธิ์ที่จะเผยแพร่เนื้อความทั้งหมดจนกว่าจะ ได้ยื่นขอเสนอสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามเป้าประสงค์ที่ตั้งไว้

4.1 ผลลัพธ์เชิงเทคนิค

4.1.1 การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการประมาณ

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์นั้นเป็นการเคลื่อนที่ที่ได้มาจากการเคลื่อนที่ของ หุ่นยนต์จริงโดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองเป็นตัวแทน ดังหัวข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 ที่ผ่านมา ผลการจำลอง ด้วยวิธีการปิดเศษอนุกรมของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในแต่ละวิธีที่เป็นที่นิยม คือแบบ Euler แบบ Modified Euler และแบบ Runge Kutta (4th-order Runge-Kutta) [44] ซึ่งใช้ในขั้นตอนการสร้าง สัญญาณอลวนเป็นแบบดังภาพที่ 4.1 โดยผลการทดลองพบค่าความผิดพลาดทางการคำนวณเชิงตัวเลข และนำเสนอในตารางที่ 1



ภาพที่ 4.1 อัลกอริทึมการประมาณที่ใช้เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

กำหนดความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 4MHz ซึ่งความเร็วของการทดลองที่ใช้งานคือ 16 KHz และความเร็วจากอุปกรณ์ D/A จะเป็นผลมาจากความเร็วของการทดลอง จุดมุ่งหมายของการทดลอง นี้คือ การแสดงชุดข้อมูลที่เวลาต่างๆ ตามช่วงของ Δt ที่ความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง จะเก็บข้อมูล ของการสร้างสัญญาณผ่านทางออสซิลโลสโคปที่แสดงถึงการพล็อตสองมิติและอนุกรมเวลาของตัวดึงดู อลวน และข้อมูลของการสร้างสัญญาณผ่านทาง LabVIEW ด้วยอุปกรณ์ DAQ USB-6009 เพื่อใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่า Lyapunov ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของตัวดึงจุดที่สร้างด้วยวิธีการเชิงตัวเลข Euler, Modified Euler และ Runge-Kutta จากการทดลองและเก็บข้อมูลทำให้ทราบค่า Δt ในช่วงใดจึงกำเนิดสัญญาณอลวน และค่า Δt ควรเป็นเท่าไรจึงทำให้เกิดสัญญาณที่ดีที่สุด ในที่นี้ได้ใช้ความละเอียดของ Δt เป็นทศนิยม 3 ตำแหน่ง

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่า LE หรือ Lyapunov exponents นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก และให้ค่าที่บ่งว่าเกิดสัญญาณอลวนจากเครื่องหมายที่เป็นบวกของ L_1 และค่าลบของ L_3 โดย $L_2=0$ โดยค่าพารามิเตอร์ใช้ตามพารามิเตอร์ที่ใช้ตามหัวข้อที่ 3.2.5 ในบทที่ 3 อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบอัลกอริธึมที่มีพจน์การประมาณจากเชิงความซับซ้อนนั้น วิธีแบบ Euler จึงเป็นตัวเลือกที่ดีมาก เพราะเป็นเพียงการประมาณในเบื้องต้นหรือในอันดับแรก ทำให้เสียเวลาในการประมวลผลน้อยจึงเหมาะที่จะใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

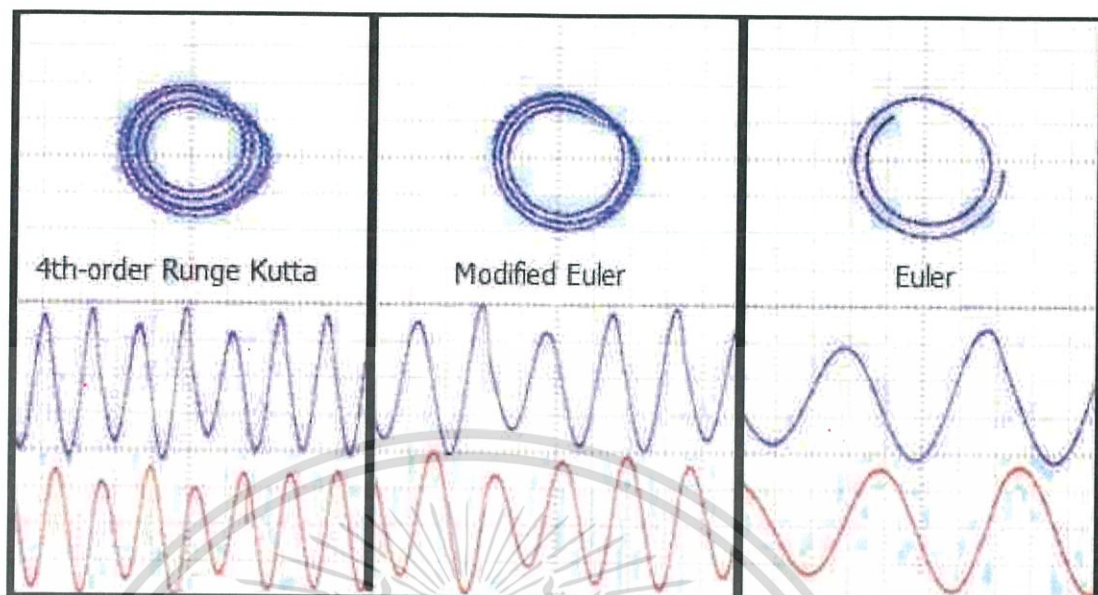
อย่างไรก็ตาม ในการแสดงผลภาพ วิธีการแบบ 4th -order Runge-Kutta ยังคงให้ผลที่มีรายละเอียดที่ดีที่สุดดังแสดงในภาพที่ 4.2 อันเป็นตัวอย่างสัญญาณอลวนแบบ Rossler ในระนาบ xy โดยกำหนดพารามิเตอร์ $a=b=0.1$ และ $c=14$ จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีการประมาณแบบ Euler นั้นเป็นการประมาณอย่างหยาบ แบบ Modified Euler จะละเอียดขึ้น และ 4th -order Runge-Kutta ให้ค่ากราฟที่ละเอียดที่สุด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัลกอริธึมการประมาณเชิงตัวเลข

Δt	Euler			Modified Euler			4 th -order Runge-Kutta		
	min	optimum	max	min	optimum	max	min	optimum	max
Rosler	0.035	0.050	0.090	0.035	0.090	0.190	0.035	0.055	0.107
Chua	0.001	0.025	0.109	0.001	0.065	0.214	0.001	0.060	0.410
Chen	0.001	0.010	0.022	0.001	0.020	0.045	0.001	0.015	0.070
Lorenz	0.003	0.015	0.061	0.003	0.035	0.100	0.003	0.030	0.101

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการคำนวณค่า Lyapunov exponents ด้วยการใช้วิธีการประมาณแบบต่าง ๆ

วิธี	Euler			Modified Euler			4 th -order Runge-Kutta		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Rosler	0.07224669 62380193	0	-5.579366 25955856	0.072195995 1366515	0	-5.580700 11063179	0.072001490 5147549	0	-5.586439 73058506
Chua	0.01189462 37206545	0	-15.46927 65732268	0.011845103 1806795	0	-15.46931 70983134	0.011106830 7854841	0	-15.46934 65920687
Chen	2.18967542 709671	0	-11.85625 88217817	2.189397620 38704	0	-11.85650 27278098	2.188132234 51464	0	-11.85659 88719770
Lorenz	0.90607923 6771875	0	-14.57325 64051978	0.905920449 369133	0	-14.57334 55809751	0.805554826 050005	0	-14.97334 78865059



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบอัลกอริธึมการประมาณที่ใช้ในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

4.1.2 การทดสอบลำดับการดำเนินงานของระบบ CPS

ในการทดลองนี้ จะใช้การจำลองระบบ CPS โดยกำหนดให้ปรากฏการณ์ Meissner เป็น Marker หรือเป็นการส่งผ่านโทเคน (Token) ให้หุ่นยนต์สวนทำงาน โดยขั้นตอนการทำงานนั้นสามารถให้กระสวนอลวนแบบต่าง ๆ ผลักกันทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องจำกัดกระสวนอลวนที่แสดงในรายงานในบทที่ผ่านมาในข้างต้น ในการทดลองนี้อาศัยทฤษฎีเพทรีเน็ต (Petri-Net) จำลองสภาวะการทำงานจากระบบสามารถแทนความหมายด้วยส่วนต่างๆ ของเพทรีเน็ตคือ สภาวะแทนด้วยเพลส (place) หรือ p และเหตุการณ์แทนด้วยการเปลี่ยนผ่าน t (transition) สภาวะก่อนเกิดเหตุการณ์แทนด้วยอินพุตเพลส สภาวะหลังเกิดเหตุการณ์แทนด้วยเอาต์พุตเพลส การเกิดขึ้นของเหตุการณ์แทนด้วยการกระตุ้นให้เกิดทรานสิชัน และสภาวะของระบบในขณะนั้นแสดงโดยโทเคนในเพลส เมื่อเกิดการกำเนิดทรานสิชันจะเคลื่อนย้ายโทเคนจากเพลสที่แสดงสภาวะก่อนเกิดเหตุการณ์ไปที่เพลสหลังเกิดเหตุการณ์ โดยมีเงื่อนไขของเวลามาเกี่ยวข้อง สามารถเขียนแบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการ

ในที่นี้กำหนดให้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์เพื่อให้สะดวกในการคำนวณและวิเคราะห์ระบบ จากทฤษฎีเพทรีเน็ตบท จะได้ เมตริกซ์อุบัติการณ์มีมิติเท่ากับจำนวนทรานสิชันทั้งหมดคูณด้วยจำนวนเพลสทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $t_{total} \times p_{total}$ ดังนั้นสามารถแสดงสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ A_{ij} , A_{ij}^+ และ A_{ij}^- โดย A_{ij} หาได้จากสมการ $A_{ij} = A_{ij}^+ - A_{ij}^-$ สามารถแสดงกระบวนการทั้ง 6 หน่วยจากการสั่งค่า (1) หน่วยประมวลผลภาพ ตรวจสอบเทียบว่ามี Magnetic Levitation หรือไม่ (2) หน่วยสลับปริภูมิ หรือสลับเรียกโปรแกรมสร้างภาพ AR (3) หน่วยฐานข้อมูลสัญญาณอลวน ทำหน้าที่เรียกสัญญาณที่ต้องการมาใช้ตามอนุกรมเวลาที่กำหนด (4) หน่วยคำสั่งขัดช่วงเวลา (interrupt) กำหนดให้ทำส่วนนี้ก่อน (5) หน่วยป้อนกลับ และ (6) หน่วยควบคุมปลายทาง ซึ่งเขียนย่อในรูปคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$A_{ij}^- = \begin{cases} 1 & ; i = j \\ 1 & ; i = 1 + 2(k - 1) \text{ และ } j = 5 + 2(n - 1) + k \\ 0 & ; i, j = \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{ij}^+ = \begin{cases} 1 & ; j = i + 1 \\ 1 & ; i = 4 + 2(k - 1) \text{ และ } j = 5 + 2(n - 1) + k \\ 0 & ; i, j = \text{otherwise} \end{cases}$$

กำหนดให้ $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ และ $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

ในการลำดับการเรียนรู้ เพื่อกำหนด Event นั้นผู้เรียนทำการกรอกข้อมูลซึ่งเป็นรายละเอียดต่อจากหน้าแอปพลิเคชันเพื่อกำหนดโครงสร้างผ่านโหนดสัญญาณลวง โดยการเรียนรู้สามารถเขียนตัวอย่างการกำหนดโครงสร้างเน็ตเวิร์คเป็นภาษา PNL [45] ได้ดังนี้

```

t1: init(p1) invokes(accept(request, parameters))
p1: place(t1)
t1: trans(p2, p3)
p2: place(t2)
t2: trans(p4) invokes(acknowledge)
p3: place(t3)
t3: trans invokes(examine(parameters, limits))
p4: place(t4)
t4: trans(p5)
p5: place(t5)
t5: place(p6) invokes(update(link))
p6: place(t6)
t6: term

```

โดยการกำหนดให้ Simulation time เท่ากับ 1000/s

Arriving rate เท่ากับ 1/s

Service rate เท่ากับ 0.1/s

กำหนดตัวอย่าง Making เริ่มต้นและสุดท้ายของระบบ มีค่าเท่ากับ

$$M_0 = [100000000000000011111]^t$$

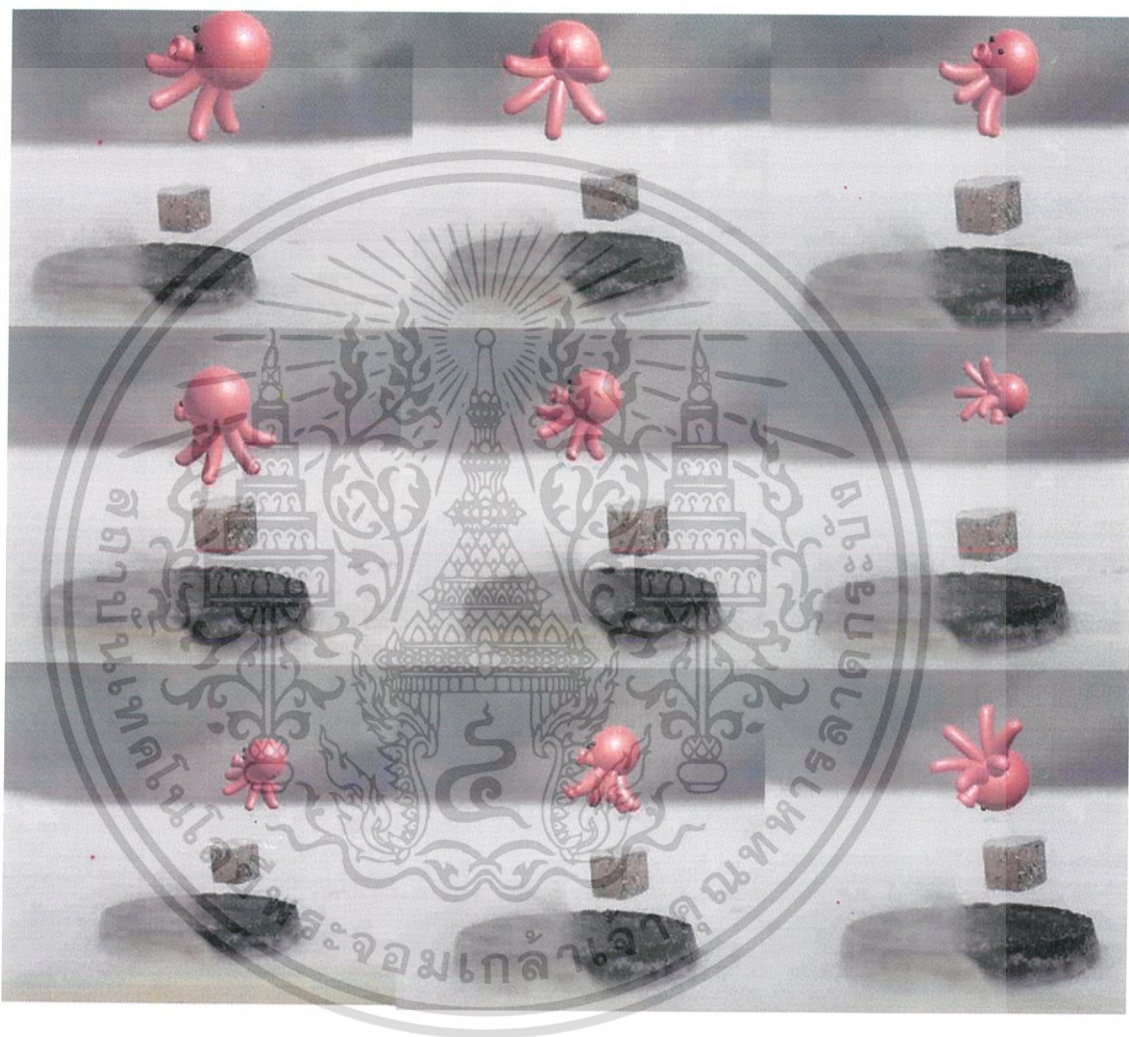
และ $M_{end} = [000000000000000111111]^t$ ตามลำดับ

หลังจากได้สร้าง Event matrix เพื่อจำลองการทำงานของกระบวนการ ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาเซตของ Reachable masking โดยกระตุ้นทรานสิชั่นแล้ว Masking ต่อไปของระบบ สามารถหาได้จากสมการ

$$M_k = M_0 + A_{ij}^t u_k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นทรานสลิชันจะเริ่มจาก Masking เริ่มต้น M_0 แล้ว กระตุ้นทรานสลิชันอื่นๆ ต่อไปจนกระทั่งได้สุดท้ายเป็น M_{end} ขั้นตอนเริ่มต้นและแสดงผล โดยอาศัยการสลับตำแหน่งของสัญญาณอลวนตามเวลาดังกล่าว แสดงผลลัพธ์สุดท้ายดังภาพที่ 4.3 โดยตัวอย่างรูปลักษณะของภาพสามมิติสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้โปรแกรม Maya หรือ โปรแกรมสร้างรูปสามมิติอื่น ๆ ส่วนการเขียนโค้ดใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งตามกำเนิดสัญญาณอลวนนั้นเขียนโดยใช้ภาษา C#



ภาพที่ 4.3 วิธีโคจรของไซเบอร์ Octopus bot ตามการกำหนด Event

4.2 ผลกระทบ (Outcome)

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประดิษฐ์ (invention) ที่มีนวัตกรรม (innovation) ทางด้านการศึกษาในลักษณะการสร้างพหุสื่อการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการใช้งานเป็นต้นแบบเพื่อให้เกิดการกระตุ้นการเรียนรู้ ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้รับการจดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร แต่จะทำการเผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติทางด้านวิทยาการและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ICSEC 2017 ในวันที่ 15-18 พ.ย. 2560 ที่จะถึงนี้ (โปรดดูภาคผนวก และ <http://icsec2017.org/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์ลอจิกนำร่องแบบผสมผสานระหว่างระบบในปริภูมิจริงและในปริภูมิไซเบอร์สำหรับงานด้านการศึกษาทางวิศวกรรมศาสตร์ อันเป็นแนวทางดำเนินการศึกษาแบบ PBL (Project-based learning) ได้ผลดังนี้

5.1 บทสรุป

1) ผลลัพธ์

ในงานวิจัยนี้ ใช้ตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงชนิด $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ โดยมีอุณหภูมิวิกฤตที่ 110 K โดยใช้สร้างสภาพความนำไฟฟ้ายิ่งยวด โดยสามารถแสดงให้เห็นปรากฏการณ์ Meissner ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยอาศัยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ขนาดของความสูงและการประมวลผลภาพเพื่อสร้างหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ ถูกจำกัดด้วย marker ที่ใช้ในระยษะขนาดภาพที่ถูกออกแบบไว้เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงวิธีการใช้กล้องสำหรับภาพสองตา (binocular) อาจไม่สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมในระบบอื่นได้ ซึ่งช่วงเวลาปฏิบัติการของแต่ละหน่วยในขั้นตอนการกำหนดการทำงานของซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์นั้น ใช้วิธีการแบบ CPS (Cyber-physical system) อันประกอบด้วยระบบทางกายภาพที่ใช้สถานะตัวนำยิ่งยวดในปรากฏการณ์ Meissner มาเป็น marker เริ่มระบบ ซึ่งสามารถจัดตารางการทำงานตามกระบวนการในรูปแบบ Petri Net ซึ่งได้แสดงให้เห็นแนวคิดจากงานวิจัยนี้

สำหรับหน่วยการเรียนรู้ของแต่ละชุดการเรียนในงานวิจัยนี้ ได้แสดงตัวอย่างการสาธิตการใช้ STEAM ซึ่งประกอบด้วยบูรณาการของศาสตร์ในพหุสาขา คือ Science, Technology, Engineering, Art และ Mathematics เป็นแนวทางในการกำหนดกิจกรรมที่มาประกอบกันเป็นหน่วยการเรียนรู้ ซึ่งในที่นี้ได้สาธิตโดยการนำวิทยาการเหล่านั้นมากำหนดแนวทางเป็นชุดประกอบ CPS เชื่อมต่อระบบสิ่งแวดล้อมแบบโลกจริงจากปรากฏการณ์การนำยิ่งยวด กับระบบเสมือนหุ่นยนต์ไซเบอร์ที่เคลื่อนที่แบบลอจิก แม้ว่าบางส่วนของผลงานวิจัยที่ไต้ยังไม่อาจเปิดเผยเนื่องจากติดในข้อกฎหมายการเปิดเผยการประดิษฐ์ที่มีผลต่อการจดสิทธิบัตรอันเป็นเป้าหมายหนึ่งของโครงการ อย่างไรก็ตามสำหรับผู้สนใจ สามารถติดต่อคณะผู้วิจัยได้โดยตรงถึงข้อคำถามเชิงเทคนิคที่อาจต้องการทราบคำตอบหรือแนวคิดบางอย่างที่อาจจะระบุไม่ชัดเจนในรายงานวิจัยนี้

จากการทดลองพบว่าการประมาณค่าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมาณค่าการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยใช้การประมาณด้วยอัลกอริธึมแบบวิธี Euler, Modified Euler, และ 4th-order Runge Kutta เพื่อประมวลผลค่าดัชนี Lyapunov นั้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากการเขียนโปรแกรมแบบ Euler นั้น ง่ายและสั้นกว่า เพราะประมาณแบบหยาบ ๆ จึงควรเลือกใช้เพื่อประหยัดเวลาในการประมวลผล เนื่องจากตำแหน่งของหุ่นยนต์ในปริภูมิไซเบอร์ไม่ได้ต้องการรายละเอียดหากแสดงผลด้วยการใช้เทคโนโลยี AR อย่างไรก็ตาม หากต้องการแสดงผลภาพของกระสวนลอจิกในรูปของตัวดึงดูดลอจิก (Chaotic attractor) วิธีแบบ 4th-order Runge Kutta จะให้รายละเอียดที่มากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงาน (task) และการประยุกต์ที่จะนำไปใช้ ซึ่งเป็นเรื่องหรือประเด็นปกติทางการออกแบบทางวิศวกรรมที่จะต้องเลือกระหว่าง (trade off) ความเร็ว (speed) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียด (resolution) ในงานวิจัยนี้ ให้ผลลัพธ์ในการประดิษฐ์ระบบ CPS ได้ผลพึงพอใจในระดับผู้ใช้งานดังกล่าวต่อไปนี้

2) ผลกระทบ

ส่วนหนึ่งของงานได้ส่งไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ICSEC 2017 ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูล SCOPUS และมีการทำ peer-review โดยกรรมการอ่าน 2 ท่าน ดังแสดงในภาคผนวก ส่วนหนึ่งที่เป็นผลกระทบที่ได้จากงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นผลจากการใช้สารหล่อเย็นไนโตรเจนเหลว สามารถมาบูรณาการกับชั้นเรียนหรือสร้างสันทนาการ (Edutainment) ในการเรียนการสอนทางวิศวกรรมได้ กิจกรรมการใช้ระบบ CPS ที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้พัฒนามาลองใช้ในหลักสูตรวิศวกรรมนวัตกรรมคอมพิวเตอร์ ให้การทดลองเป็นกิจกรรมที่สร้างการบันเทิงระหว่างการเรียนรู้ที่แสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การเรียนรู้แบบ STEAM โดยอาศัยแนวทาง PBL ตามกระบวนการ Active Learning

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยที่คณะทำงานไม่มีความถนัด ควรใช้ทีมผู้เชี่ยวชาญมาช่วยแก้ปัญหา เช่นปัญหาที่ทำให้ล่าช้าในงานวิจัยนี้คือ การขึ้นรูปตัวนำยิ่งยวดและการเผาซึ่งต้องการอุณหภูมิที่สูงถึงเกือบหนึ่งพันองศา และต้องใช้อุณหภูมิเป็นระดับในแต่ละขั้นของการปล่อยให้เย็น (Annealing) ซึ่งจะต้องมีการระวังเรื่องการปนเปื้อนจากการใช้ภาชนะร่วมกันกับสิ่งกิจกรรมอื่น การวิจัยครั้งนี้ จึงเสียเวลาไปกับความรู้เรื่องวัสดุศาสตร์ในการเตรียมวัสดุตัวนำยิ่งยวด ซึ่งต่อมาได้แก้ปัญหาโดยการให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการทำวัสดุเซรามิกที่มีห้องปฏิบัติการพร้อมทางด้านนี้มาช่วยเหลือ นอกจากนี้ การสร้างรูปสามมิติในปริภูมิไซเบอร์นั้นควรมีทีมผู้ที่มีความถนัดทางด้านศิลปะและมีติดอยู่ในทีม เพราะจะไม่ทันกับโค้งการเรียนรู้อุปกรณ์สามมิติให้ได้ตั้งใจและสวยงามดึงดูดความสนใจได้ทันเวลาปิดโครงการ หรือในเวลาที่ต้องการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chung, C. J., "Integrated STEAM education through global robotics art festival (GRAF)," *2014 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 8, 2014, pp. 1-6 (6 pages).
- [2] Berggren, K. F., Brodeur, D., Crawley, E. F., Ingemarsson, I., Litant, W. T. G., Malmqvist, J., and Ostlund, S., "CDIO: An international initiative for reforming engineering education," *World Trans. on Engineering and Technology Education*, Vol. 2, No. 1, pp. 49-52, 2003.
- [3] Niewoehner, R., Crawley, E., Koster, J., and Simpson, T., "A learning science foundation for project-based learning in engineering," *Proceedings Of the 7th International CDIO Conference*, Copenhagen, Denmark, June, 2011.
- [4] Thomas, J. W., *A review of research on project-based learning*, The Autodesk Foundation, San Rafael, CA, March, 2000.
- [5] Mathworks, "Aalborg University pioneers problem-based learning," *User Story*, Natick, MA, May 2011.
- [6] Uribe, L., and Eguchi, A., "Robo team dance," *2015 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 7, 2015, pp. 156-158.
- [7] Sanislav, T., Miclea, L., "Cyber-physical systems-concept challenges and research areas", *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, vol. 14, no. 2, pp. 28-33, 2012.
- [8] <https://www.flickr.com/photos/supercond/4757475886> Retrieved Date: July 23, 2015.
- [9] Huebener, R. P., *Conductors, Semiconductors, Superconductors: An Introduction to Solid State Physics*, Springer, 2015.
- [10] Sooraksa, P., and Klomkam, K., "No-CPU Chaotic robots: From classroom to commerce," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol. 10, Iss. 1, 2010, pp. 46-53.
- [11] ปิติเขต สุรักษา, *หุ่นยนต์ล้อวน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2560.*
- [12] Sekiguchi, A., and Nakamura, Y., "Behavior control of robot using orbits of nonlinear dynamics," *IEEE Intl. Conf. On Robotics & Automation*, 2001, pp. 1647-1652.
- [13] Sekiguchi, A. and Nakamura, Y., "The chaotic mobile robot," *IEEE Trans. on Robotic and Automation*, Vol. 17, No. 6, 2001, pp. 898-904.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y. and Takenaka, T., "The development of the Honda humanoid robot," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New York: IEEE, May 1998.
- [15] Fujita, M., "AIBO: Towards the era of digital creatures," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 20, pp. 781-794, July, 2001.
- [16] Bae, Y. C., Kim, J. W., Kim, Y. G., "Obstacle collision avoidance methods in the chaotic mobile robot with some integrated chaos equations," *Intl. J. Fuzzy Logic Intell. Syst.*, Vol. 3, pp. 729-736, 2004.
- [17] Martins-Filho, L. S., Machado, R. R., Rocha, R., and Santiago do Vale, V., "Commanding mobile robots with chaos," *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, Vol. 1, pp. 40-46, 2004.
- [18] Jansri, A., Klomkarn, K., and Sooraksa, P., "Further investigation on trajectory of chaotic guiding signals for robotics systems," *Proc. Int. Symp. Communications and Information Technology*, pp. 1166-1170, 2004.
- [19] Jansri, A., Klomkarn, K., and Sooraksa, P., "On comparison of attractors for chaotic mobile robots," *Proc. 30th Annu. Conf. IEEE Industrial Electronics Society, IECON*, Vol. 3, pp. 2536-2541, 2004.
- [20] Chanvech, C., Klomkarn, K. and Sooraksa, P., "Combined chaotic attractor mobile robots," *Proc. SICE-ICASE Intl. Joint Conf. 2006*, pp. 3079-3082, 2006.
- [21] Martins-Filho, L. S., and Macua E. E. N., "Patrol mobile robots and chaotic trajectories," *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2007. pp. 1-13, 2007.
- [22] Sooraksa, P., and Klomkarn, K., "No-CPU Chaotic robots: From classroom to commerce," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol. 10, No. 1, pp. 46-53, 2010.
- [23] Fallahi, K., and Leung, H., "A cooperative mobile robot task assignment and coverage planning based on chaos synchronization, " *International Journal of Bifurcation and Chaos (IJBC)*, Vol. 20, pp. 161-176, 2010.
- [24] Rosyid, N. R., Kikuchi, H, and Sooraksa, P., "Performance evaluation of non-embedded chaotic mobile robots based on minimum complex network," *ASEAN Journal*, pp. 65-75, 2011.
- [25] Volos, Ch. K., Kyprianidis, I. M., and Stouboulos, I. N., "A chaotic path planning generator for autonomous mobile robots," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 60, No. 4, pp. 651-656, 2012.
- [26] Zhang, X., Lqbal, S., Zhu, Y., Liu, X., and Zhao, J., "Applications of chaotic dynamics in robotics," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp. 1-17, 2016.

- [27] Kozima, H., [Marek Piotr Michalowski](#), and Cocoro Nakagawa “Keepon: A playful robot for research, therapy, and entertainment” *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-18, January, 2009.
- [28] Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W., "A Humanoid Robot as a Teaching Assistant for Primary Education," Fifth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, pp. 21-24, 2011.
- [29] Kim, J., Chun, K-S, and Kwon, D-S., “Gesture motion programming by applying robot motion hierarchy structure for the educational/entertainment robot Engkey, ” *The Proceeding of 2012 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, pp.36 - 39, May 2012.
- [30] Papert, S., *The Children's Machine*, Basic Books, New York. 1993.
- [31] Cooper, M., Keating, D., Harwin, W. and Dautenhahn, K., *Robots in the Classroom-Tools for Accessible Education*, IOS Press, Christian Buhler and Harry Knops, 1999.
- [32] Chang, C-W., Lee, J-H., Chao, P-Y., and Chen, G-D., "Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school," *Educational Technology & Society (IFETS)*, Vol. 13(2), pp. 13–24, January 2010.
- [33] Park, S. J., Han, J. H., Kang, B. H., and Chin, K. C., "Teaching assistant robot, ROBOSEM, in English class and practical issues for its diffusion," *IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts*, pp. 8-11, October 2011.
- [34] Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W., "Impact of Using an Educational Robot-based Learning System on Students' Motivation in Elementary Education," *IEEE Trans. on Learning Technology*, Online: DOI 10.1109/TLT.2014.2346756, 2014.
- [35] Brown, L. N., and Howard, A. M., “The positive effects of verbal encouragement in mathematics education using a social robot,” *2014 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 8, pp. 1-5 (5 pages), 2014..
- [36] Sullivan, A. A., B., Umaschi, and Mihm, C., “Imagining, playing, and coding with KIBO: Using robotics to foster computational thinking in young children,” *Conference Proceedings of International Conference on Computational Thinking Education*, pp. 110-115, 2017.
- [37] Rao, A. R., “ A novel STEAM approach: Using cinematic meditation exercises to motivate students and predict performance in an engineering class,” *IEEE Integrated STEM Education Conference*, pp. 64-70, 2017.
- [38] Pelriae, R. E., “Magnetic field levitation,” *US Patent 5,396,136*, Mar 7, 1995.

- [39] Francis, A. G. Jr., and Lewis, T., "Methods and systems for personality robot development," *US Patent 8996429*, 2015.
- [40] Rhee, J. S., "Intelligent pet robot," *US Patent 20020098879 A 1*, 2002.
- [41] Tinkham, M., *Introduction to Superconductivity*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [42] Poole, C. P. Jr., Datta, T., Farach, H. A., *Copper Oxide Superconductivity*, Wiley-Interscience Publication, New York, 1988.
- [43] Carlidge, E., "Superconductivity record sparks wave of follow-up physics," *Nature News*, August 17, 2015.
- [44] Kreyzig, E., *Advanced Engineering Mathematics*, 10th Edition, Wiley Plus, 2011.
- [45] Nelson, R., Haibt, L., and Sheridan, P., "Casting Petri Net into Program," *IEEE Trans. on Software Engineering*, Vol. SE-9, No. 5, pp. 590-602, 1983.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

การเผยแพร่ผลงานในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ICSEC 2017
ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูล SCOPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design of a Cyber-Physical Demonstration using STEAM: Superconducting Chaotic Robots

Pirapat Tangsuknirundorn Paramat Sooraksa Pitikhate Sooraksa
 Department of Computer Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok, 10520, Thailand

Abstract— In this paper, STEAM approach to create superconducting chaotic robots as a cyber-physical system is demonstrated. In science and technology viewpoints (S&T), Meissner's effect is a fascinating phenomenon leading students to be motivated and inspired to learn more about this macroscopic quantum effect. In engineering and artistic design (E&A), we utilize augmented reality to create a virtual octopus over a real environment. The virtual octopus is appeared whenever a superconducting phenomenon is detected. In other words, once a Meissner's effect is identified by a computer program on smartphones, then the octopus will chaotically floating over the superconductor disk in the real space. The octopus's trajectory can be mathematically (M) generated by any chaotic equation. Subjectively, the proposed CPS demonstration was impressed by computer engineering students in our classes.

I. INTRODUCTION

Through a creative learning process, STEAM is an educational approach that combines Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics as guiding learning ports to gain knowledge, problem-solving skills, and skills of the 21st century [1]. The approach has student-centered learning at its core. With design aspects of engineering and arts through a focus on inquiry based instruction, the approach has inherently been an active learning. In this paper, STEAM approach is employed as guided points to engage intentional connection between lesson design and implementation of a cyber-physical system. To be specific, the CPS demonstration unit is “superconducting chaotic robots.”

The demonstration was presented at KMUTL, Thailand, for the first lecture aiming to introduce a cyber-physical system to students at undergraduate level of Computer Innovation Engineering program. The aim of this demonstration is to manifest CPS as enabling technologies that connect the virtual and physical worlds together. The scope of this paper is limited to the detail design of the demonstration.

II. PEDEGOGY CONCEPT

To answer why we choose superconducting chaotic robots for illustrating cyber-physical systems using STEAM approach, it is benefit to present core learning elements of this designed lessons. We would like students to learn 4 concepts which can be viewed as a core element of CPS:

1) Cyber-physical systems: Integration of superconductivity (S) and augmented reality technology (T) presents innovative way of illustrating what CPS is;

- 2) Modeling and Computation: Image recognition of Meissner's effect to activate AR serves as modeling computational intelligence (E);
- 3) Virtual space: A virtual robots add artistic elements into the designed system (A);
- 4) Control: Chaotic paths of the cyber robots can be generated by using chaotic equations (M).

The lesson focuses on designing superconducting chaotic robots as an introduction to a CPS system. To introduce students to multidisciplinary nature of cyber- and real-world interaction, a superconducting chaotic robot is an interesting example. Several reasons why we choose this lesson are:

- To review lessons on material science and quantum physics.
- To motivate the use of modeling and design by applying chaos in engineering.
- To understand interactive coupling between cyber and physical
- To construct a mathematical model using non-linear ODEs
- To help students realize value of safety and techniques when work with cryogenic environment such as dealing with liquid nitrogen.

At a practical level, we let students work in team to create chaos toolboxes that are writing codes in MATLAB or Python for designing virtual robots' chaotic trajectories. The toolboxes help to model and simulate a design problem. At interactive level, a software package such as Maya, Vuforia, and 3D Max are adopted to utilize interactive and virtual experiments with physical background. Facilitating the software packages with C#, students can write their own functional mock up interface.

III. KEY LESSONS

Students' collective responses to the lesson in the real world and to the cyber space are important outcomes of active learning. In this designed CPS lesson, there are two valuable lessons herein to be learned by students. One is Meissner's effect as the ticker point. The students can use their cameras on smartphones to determine the phenomena. Once Meissner's effect is detected, a cyber-robot is appeared. Eventually, this will activate the second key lesson which is chaotic signals as the robot's path generators. A brief explanation for these two key lessons are as follows.

A. Real World: Meissner's Effect as the ticker point

Meissner's effect is named after Meissner who first discovered the phenomenon in 1933 [3]. This effect is occurred when the strength of applied magnetic field is presented and the superconductor repulses the magnetic field exhibiting a property of diamagnetisms. This magnetic repulsion phenomenon is one of the properties of superconductors and is easy to demonstrate. This proves that the superconductors are strongly diamagnetic. Meissner's effect is also spectacular which is suitable to draw attention from the audiences.

In addition, another amazing observation is that the levitated magnet as shown in Fig. 1 is under flux pinned which is not easily side off. This is a phenomenon uniquely associated with Type II superconductor for high temperature ceramic superconductors. To exhibit a good picture of this effect in the classroom, it is recommended to use a wireless cameras connected to a projector or use an overhead projector to magnify the levitated magnet hanging in the mid-air.

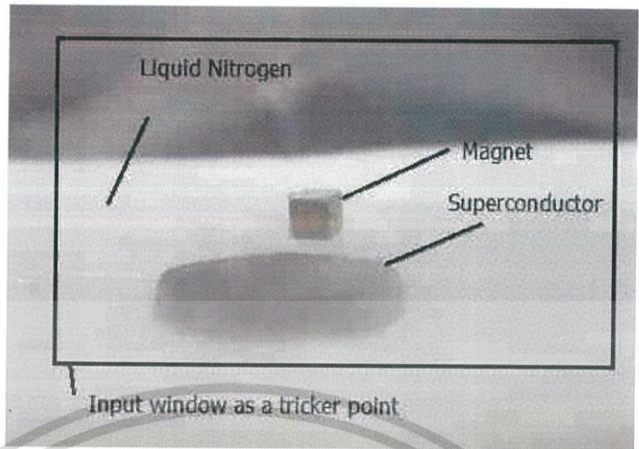


Fig. 1 Meissner's Effect is input to activate the AR feature

To utilize this phenomenon as input or as a token from the Petri net point of view, students are encouraged to write a computer program for interfacing this input via image recognition. A real-time picture is used for activating a virtual robot on the screen of students' smartphones. The cyber robot is assigned to move chaotically which will be discussed in Part B.

B. Cyber Space: Chaotic signals as a robot's trajectory generator

Once an image in the input window shown in Fig. 1 is recognized by the image processing program, cyber robots on Fig 2 are activated. In other words, the effect proposed in Part A is actually an AR marker! The robots are freely designed by using students' imagination. A cat and a dog moving chaotically in Fig. 2 presents the idea of the paradigm.

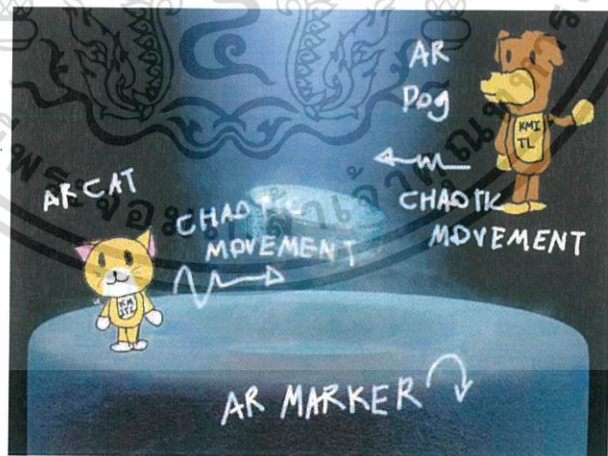


Fig. 2 The conceptual framework of the designed system

To generate chaotic movement, students have free choices to select from their chaotic database. For example, Arnold equation is mathematically described in equation (1) may be used for generating chaotic paths:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= a \sin z + c \cos y \\ \frac{dy}{dt} &= b \sin x + a \cos z \\ \frac{dz}{dt} &= c \sin y + b \cos x\end{aligned}\quad (1)$$

where $x_0, y_0, z_0 = (4, 3.5, 0)$ $a, b, c = (0.27, 0.135, 0.135)$

Given initial condition and parameters for equation (1), gaits in mid-air of the cyber robots can be simulated by using MATLAB shown in Fig. 3 running for 100 s. Calculating Lyapunov exponents of Arnold chaotic trajectory using Wolf's algorithm, we obtain $(+0.2261922, 0, -0.2261922)$. Since there are two different signs (+ and -) in Lyapunov exponents, this system is proved to be chaotic. Students are encouraged to try a new chaotic gait or other chaotic trajectory generators such as those of Chua, Chen, Lorenz, or Sprott and so on [4, 5]. Next section provides a demonstration of the proposed paradigm.

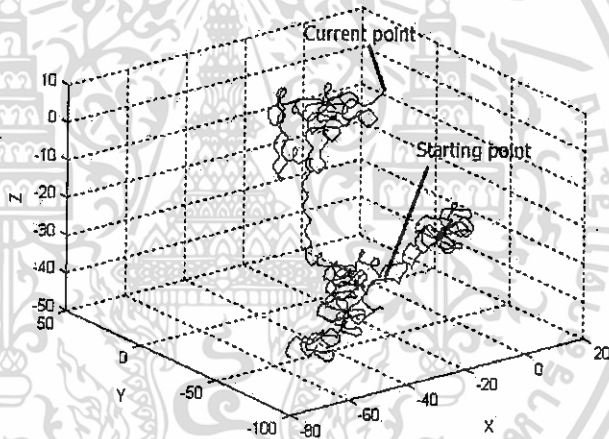


Fig. 3 Chaotic path generation using Arnold equation

IV. RESULTS

A superconductor disk used in this paper is $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$ with critical temperature at 110 Kelvin. Applying this type of material as body of a physical robot in the room temperature is impossible. Because the ceramic needs to cool down below the critical temperature by liquid nitrogen. We have tried to move the levitating magnet floating over the superconducting disk around the containers in the physical world. But the material is too fragile to use and can be changed to a normal ceramic when its temperature is below the critical one. We have experiences on this situation and the material is broken apart into fractions. In addition, physical robots made of superconducting materials were dropped down to the floor if the temperature exceeds the critical temperature. If this the case, the ceramic-type body might turn out to be dark powders. To avoid this event, we then set the superconductor performs only static Meissner's effect and use the cyber-robots move

chaotically instead. Figure 4 reveals a series of photographs taken by the authors during the demonstration.

An AR marker in Fig. 1 is a virtual octopus which is a cyber-robot. We may also ask questions about biology, chemistry, and marine life, or even sex life associated to the octopus. Apparently, students are inspired by curiosity rather than a chalk-and-talk teaching style. Figure 4 shows a series of photographs from (a) to (f) for the demonstration. We adopt parameters and initial conditions using equation (1) and select only variable z for generating a chaotic trajectory. Note that the ground zero or the reference of the cyber plane is set to be 5 cm off-set above the center of the superconductor disk.

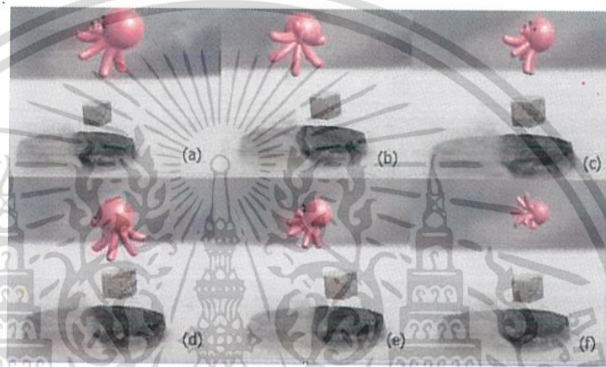


Fig.4. A series of photographs for the proposed demonstration system: from (a) to (f)

V. CONCLUSION

A CPS demonstration on superconducting chaotic robots using STEAM have been designing and is presented. Two key lessons are addressed: one for physical world applying superconductivity and the other for cyber space using AR technology and chaos theory. Meissner's effect is employed for drawing attention from students. The picture of a magnet levitating on the mid-air is always fascinating. We assign this picture as a marker for AR to activate a cyber-robot. A case study of generating a trajectory of a cyber-robot is driven by Arnold equation to chaotically generate orientation and displacement. Based on feedback from the students, the designed approach yields satisfactory results.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank National Council Research of Thailand (NRCT) for financially support under Grant of the year 2560.

REFERENCES

- [1] C. J. Chung, "Integrated STEAM education through global robotics art festival (GRAF), *Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Mar. 2014, pp. 1-6.
- [2] T. Sanislav, L. Miclea, "Cyber-physical systems-concept challenges and research areas", *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, vol. 14, no. 2, pp. 28-33, 2012.
- [3] P. Seidel, *Applied Superconductivity: Handbook on Devices and Applications*, Wiley-VCH, 2015.
- [4] P. Sooraksa, *Chaotic Robot*, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, KMITL Press, 2017 (in Thai).
- [5] G. Chen and X. Dong, "From Chaos to Order – Methodologies, Perspectives and Applications", World Scientific Pub. Co., Singapore, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติหัวหน้าโครงการ



ชื่อ-สกุล ปิติเขต สุรรักษา

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

การศึกษาสูงสุด Ph.D. (Electrical Engineering) University of Houston, USA

ได้รับรางวัลงานวิจัยดีเด่นปี 2542 และ 2551 มอบโดย สกว. รางวัลต้นแบบโทรคมนาคมยอดเยี่ยม ปี 2553

และสิทธิบัตร World Patent PCT 2008: An Authentication Device ร่วมกับ กฤดากร กล่อมการ

และได้รับรางวัลปฏิบัติราชการดีเด่น ปี 2549



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้