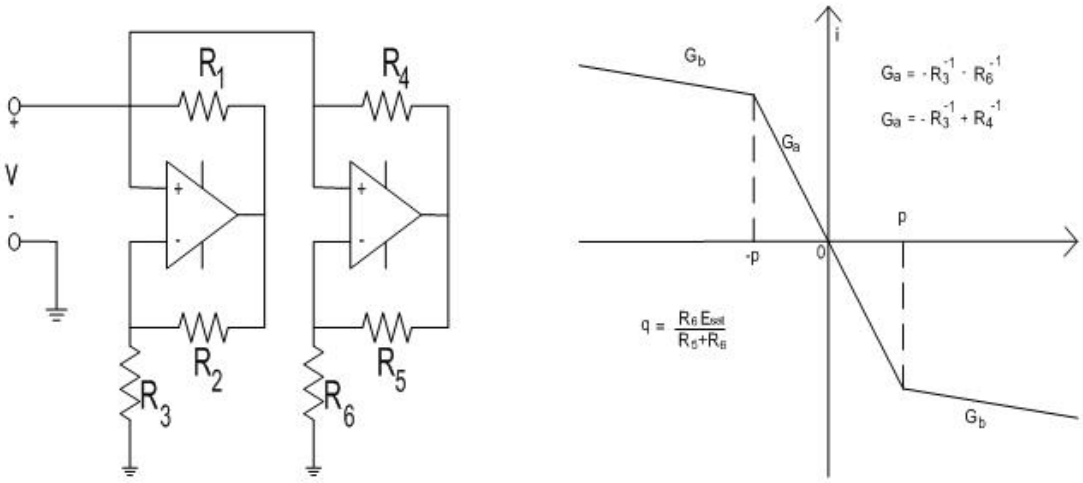
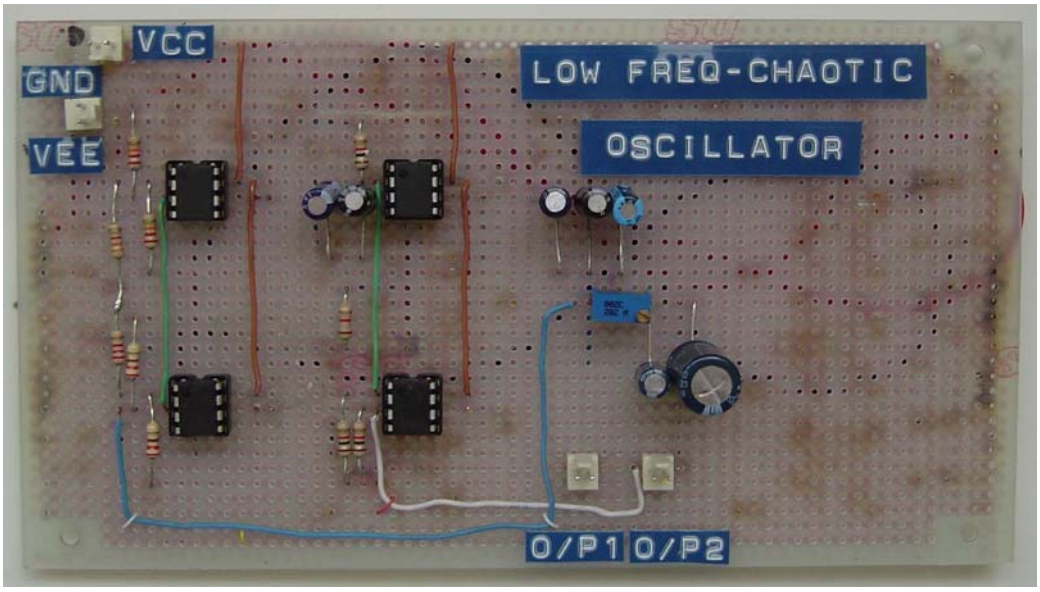
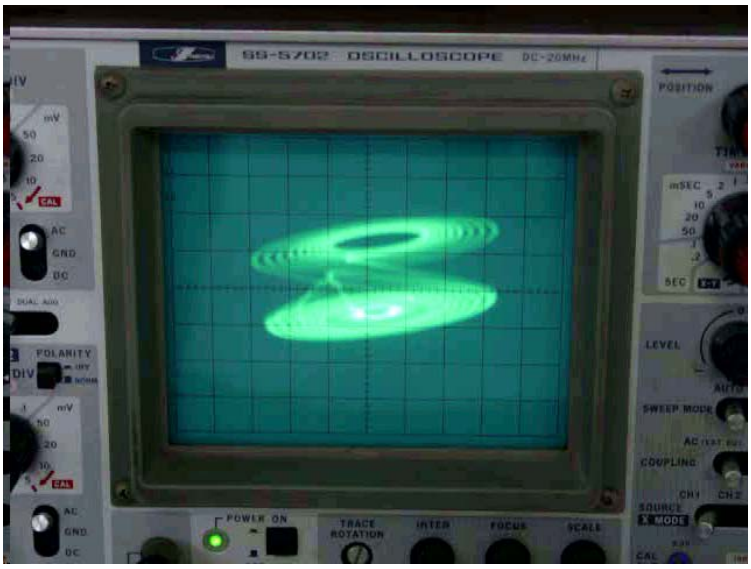


รูปที่ 45 วงจรเทียบเท่าและคุณลักษณะของวงจร Chua

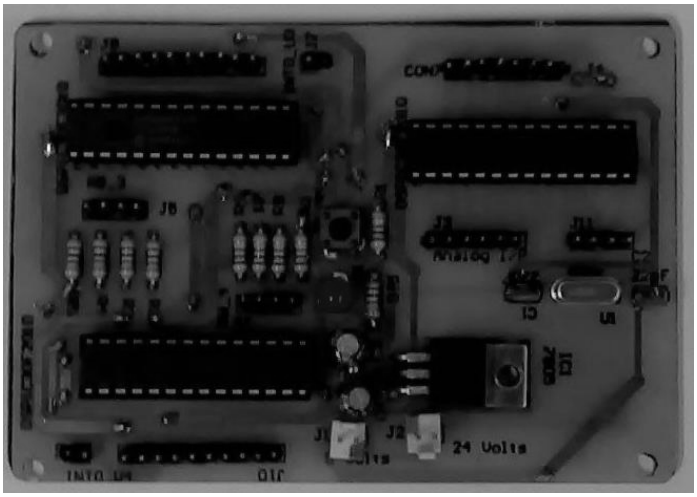


รูปที่ 46 วงจร Chua แบบอนาลอก

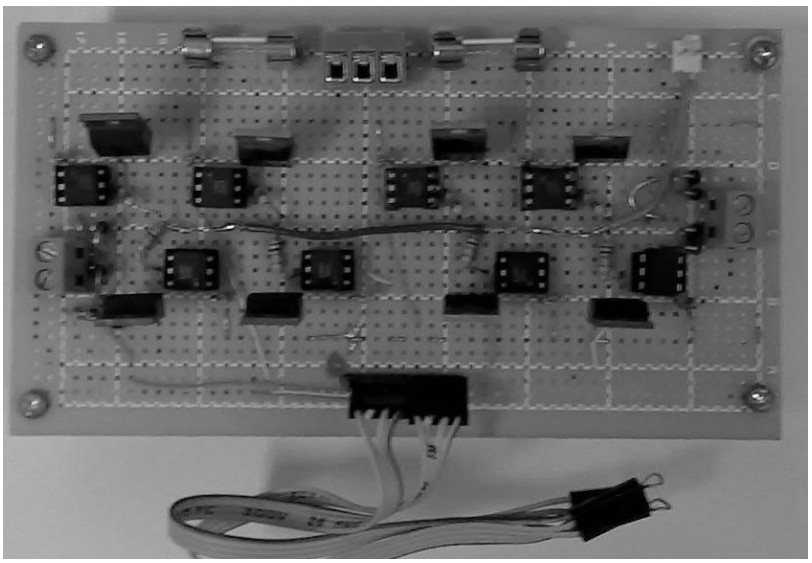


รูปที่ 47 กระสวนอลวนแบบ Chua จากวงจรในรูปที่ 46

รูปที่ 48 แสดงการสร้างอุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ DsPIC30F2010 ในการคำนวณประมวลผลสมการอลวนและสมการหุ่นยนต์สองล้อ พร้อมทั้งสร้างพัลส์ความเร็วของมอเตอร์ล้อหุ่นยนต์โดยแยกล้อซ้าย ขวาอิสระ โดยใช้อุปกรณ์ขับมอเตอร์เป็นมอสเฟส IRF540 ต่อแบบบริดจ์สี่ตัวสามารถหมุนไป กลับได้ ดังแสดงในรูปที่ 49

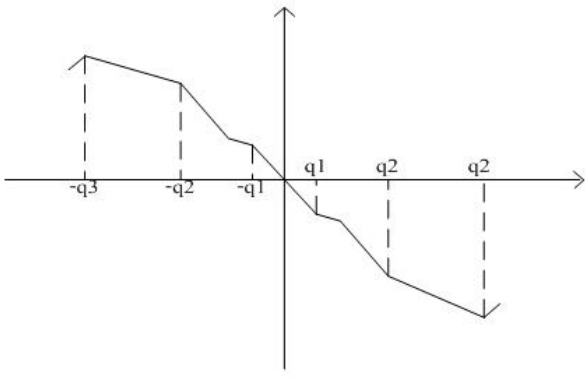


รูปที่ 48 แผงวงจร DsPIC30F2010 สร้างสัญญาณอลวน



รูปที่ 49 แผงวงจร IRF540 ขับมอเตอร์

หากออกแบบวงจรให้เป็นแบบ 4 scroll จะได้คุณสมบัติและวงจรเทียบเท่าดังรูปที่ 50 และ 51 ตามลำดับ

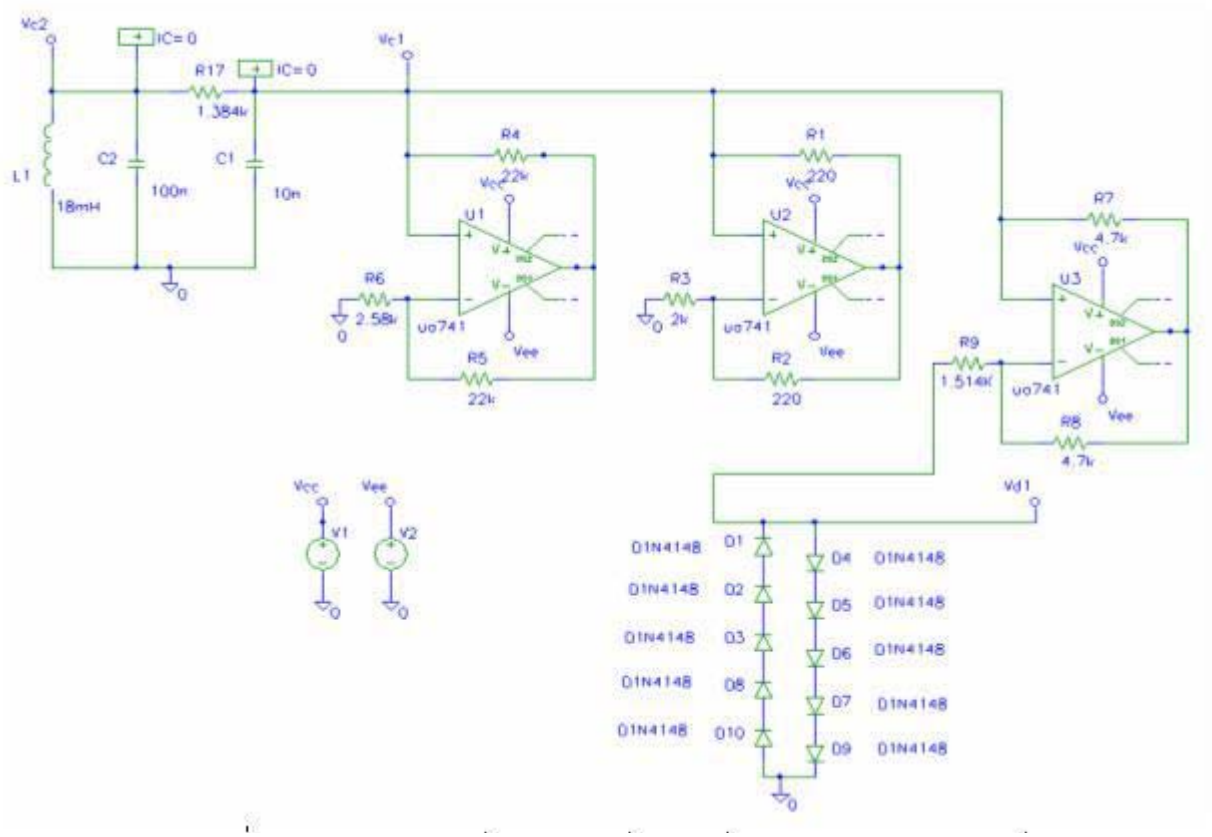


$$q_1 = \frac{R_6}{R_5 + R_6} E_{sat}$$

$$q_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} E_{sat}$$

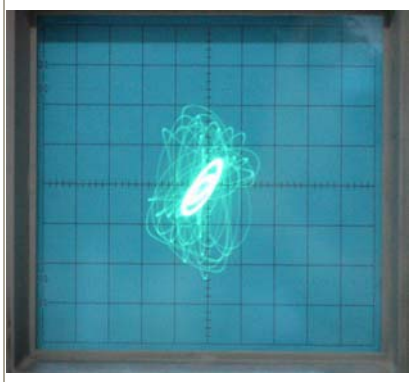
$$q_3 = \frac{R_9}{R_8 + R_9} E_{sat}$$

รูปที่ 50 คุณลักษณะของวงจร Chua แบบ 4 scroll

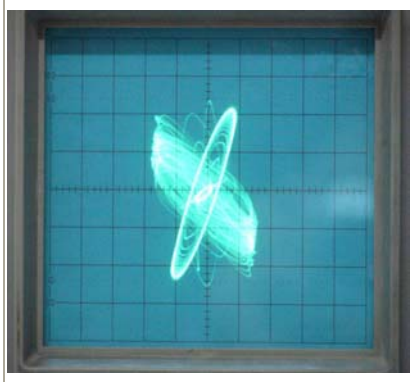


รูปที่ 51 วงจร Chua แบบ 4 scroll

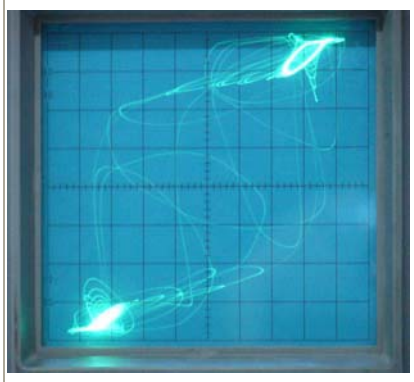
ผลการทดลองที่ได้ในการสร้างวงจรสัญญาณอลวนแบบ Chua ในระนาบ x-y ด้วย R-coupling โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 52



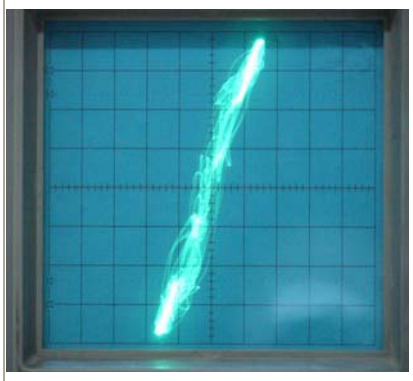
R(coupling) = 5.4 K



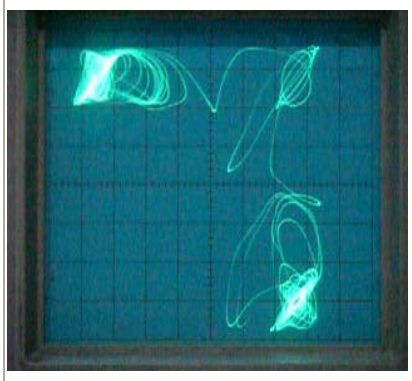
R(coupling) = 5.23 K



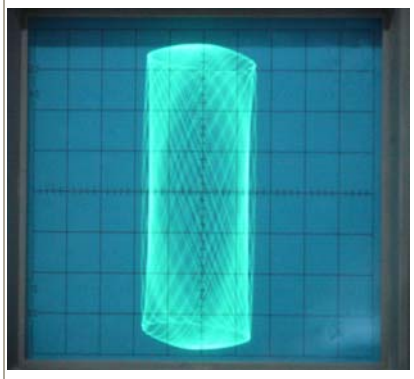
R(coupling) = 2.9 K



R(coupling) = 4 K



R(coupling) = 3.4 K

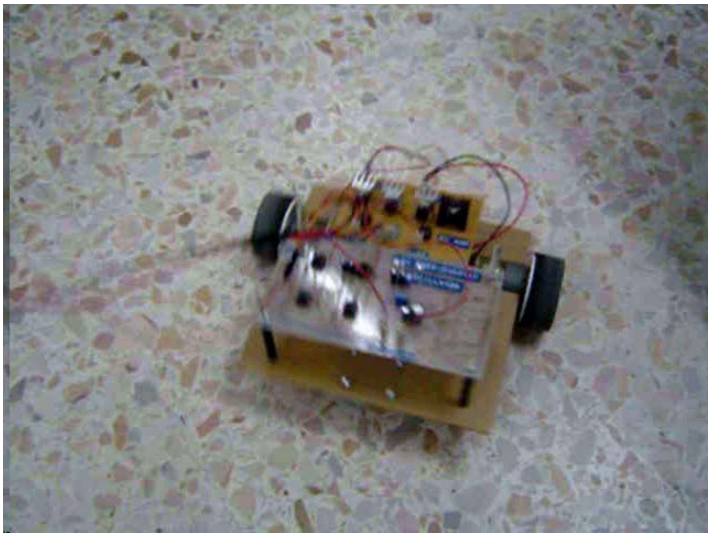


R(coupling)= 5 K

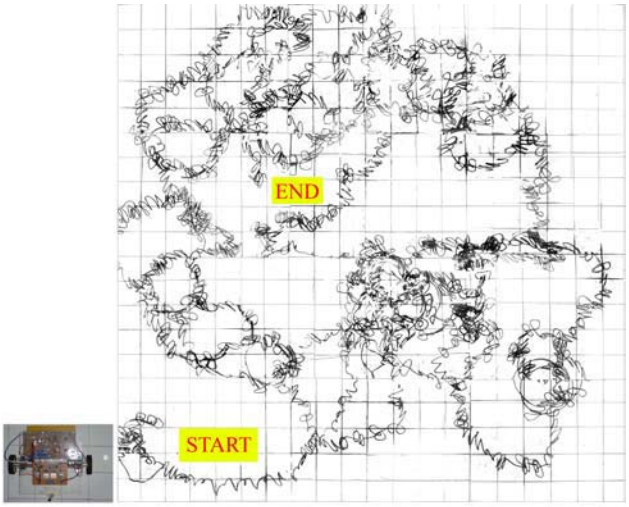
รูปที่ 52 ผลการทดลองวัดสัญญาณอลวนแบบ 4 วงหลุมดึงดูดแบบ Chua ที่สร้างจริง

การทดลองทดสอบเส้นทางเดินเพื่อค้นหาเป้าหมาย

การตรวจสอบเส้นทางเดินเพื่อทำการค้นหาเป้าหมาย ผู้วิจัยได้สร้างหุ่นยนต์สองล้อขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 53 โดยใช้วงจรขับที่ได้ออกแบบและสร้างในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระสวนอลวนแบบ Chua ให้เส้นทางการเคลื่อนที่ครอบคลุมพื้นที่ดังที่คาดไว้จากการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ในบทก่อน ดังแสดงในรูปที่ 54

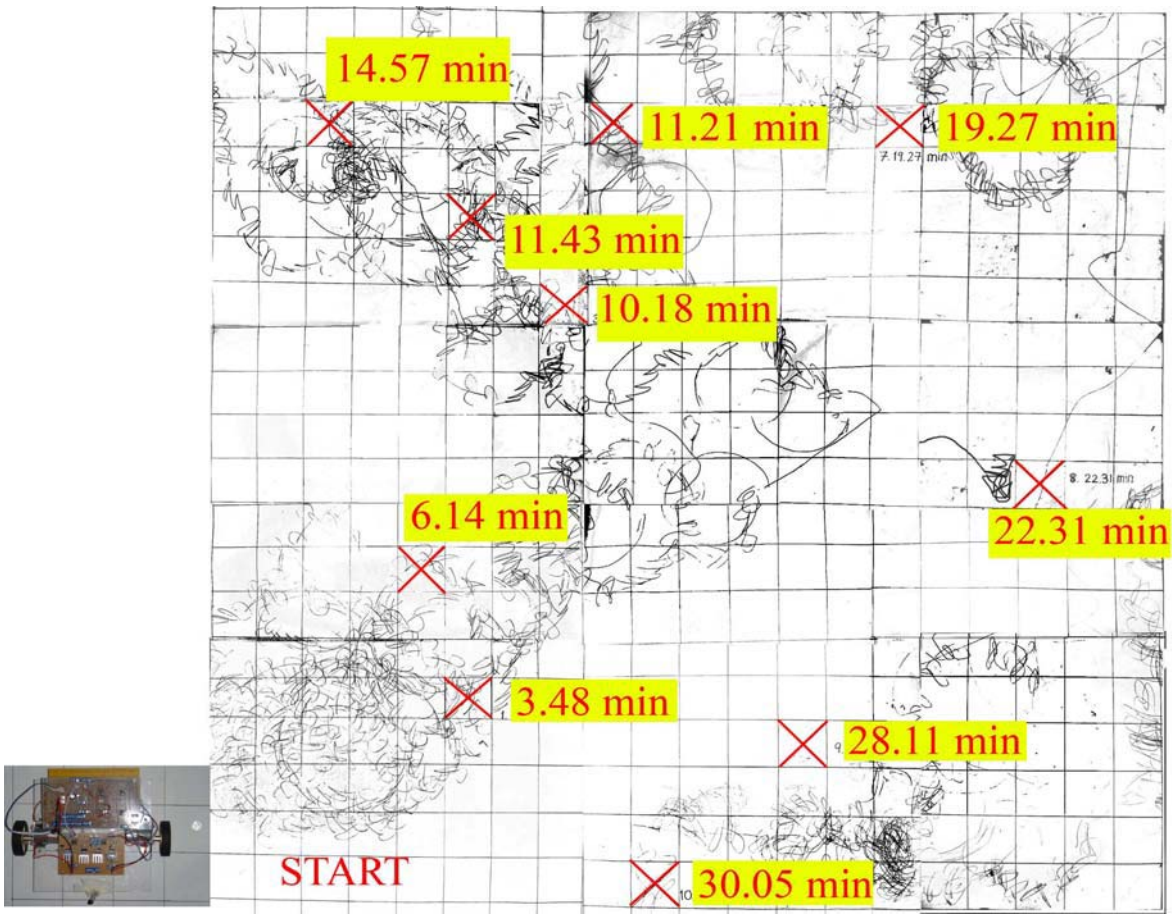


รูปที่ 53 หุ่นยนต์อลวนแบบ “NO-CPU” [23]



รูปที่ 54 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์อลวนขับเคลื่อนด้วยสัญญาณแบบ Chua

เมื่อสมมติสถานการณ์ให้ค้นหาเป้าหมายที่สุ่มพิกัดโดยอาศัยการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบนี้จะติดปากกาเมจิกไปกับหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบกระสวนของเส้นทาง และจับเวลาในการค้นพบเป้าหมายในแต่ละจุดโดยใช้เครื่องหมายกากบาทแทนเป้า ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 55 ซึ่งใช้เวลาประมาณครึ่งชั่วโมงในการค้นหาเป้าหมายทั้ง 10 จุด สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมดูได้ในภาคผนวก ข หรือเอกสารอ้างอิง [23, 24] ซึ่งรายงานโดยผู้วิจัย



รูปที่ 55 ผลการทดลองการค้นหาเป้าหมายโดยใช้กระสวนอลวนแบบ Chua

จากการทดลองจำลองสถานการณ์การค้นหาระเบิดในพื้นที่ที่ไม่มีแผนที่ ในรูปที่ 55 บ่งชี้เป็นนัยถึงศักยภาพที่จะประยุกต์หุ่นยนต์อลวนกับงานอื่น ๆ ที่ต้องการเส้นทางเดินลาดตระเวนที่ครอบคลุมดังแสดงโดยกระสวนอลวนนี้ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงการประยุกต์ผลการวิจัยในบทนี้ไปใช้กับปัญหาประยุกต์ทางวิศวกรรมทางด้านอื่นๆ

บทที่ 5
บทสรุป

ในส่วนของบทสรุปในตอนท้ายจะกล่าวถึงสรุปผลทางเทคนิคและสรุปผลสัมฤทธิ์ของโครงการในส่วน “ผลลัพธ์” (output) และ “ผลพลอยได้” (outcome) โดยในส่วนผลพลอยได้นี้กล่าวถึงการประยุกต์องค์ความรู้เชิงเทคโนโลยีที่ได้จากโครงการนี้เพื่อใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านสื่อสาร ด้านเครื่องใช้อำนวยความสะดวก ด้านอุตสาหกรรมการปั่นผสมไบโอดีเซล ด้านความมั่นคงแห่งชาติเป็นต้น

บทสรุปทางเทคนิค

จากแรงบันดาลใจของหุ่นยนต์อลวนของนักวิจัยชาวญี่ปุ่น [1] ที่ใช้กระสวนการขับเคลื่อนแบบ Arnold ซึ่งเป็นแบบไร้หลุมแรงดูดนั้น เป็นเหตุจูงใจให้ผู้วิจัยทำการตรวจสอบกับกระสวนอลวนรูปแบบอื่น ๆ จากการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และต่อมาจำลองผลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์พบว่า กระสวนอลวนแบบ Sprott7 และแบบ Chua มีรูปแบบเส้นทางเดินที่ให้พื้นที่การครอบคลุมชนะรูปแบบที่ใช้ใน [1] และกระสวนอลวนแบบ Sprott7 กำเนิดเส้นทางเดินได้ครอบคลุมที่สุดในบรรดากระสวนรูปแบบต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบ

แต่จากการสังเกตภาพกระสวนพบว่า กระสวนอลวนแบบ Sprott7 มีทางเดินใกล้ชิดกันมากกว่าที่ล้อหุ่นยนต์จะขยับได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งอาจก่อเกิดการสั่นและกระตุกในการทำงานจริง ผู้วิจัย จึงพิจารณากระสวนอลวนแบบ Chua ซึ่งถึงแม้จะให้ค่าความครอบคลุมพื้นที่สำรวจน้อยกว่าแบบ Sprott7 เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ (the second best) แต่กระสวนทางเดินนั้นจะราบเรียบกว่า อีกทั้งการสร้างวงจรจริงทำได้ง่ายด้วยอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก นอกจากนี้ ยังมีข้อได้เปรียบทางต้นทุนเวลาเพราะวงจรอลวนแบบ Chua มีการเผยแพร่เป็นสาธารณะ [8-10] ดังนั้นจึงเลือกวงจรอลวนแบบ Chua ในการสร้างจริงและเป็นตัวแทนที่เหมาะสมที่สุดจากการคัดเลือก ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจากหุ่นยนต์ที่สร้างจริง พบว่า กระสวนอลวนแบบ Chua มีความสามารถขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้ค้นพบเป้าหมายที่วางไว้ในที่ไม่ทราบแผนที่ โดยกำหนดตำแหน่งเป้าหมายด้วยการสุ่มโดยคอมพิวเตอร์ ในเวลาที่สมเหตุผลเชิงปฏิบัติ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กันคือ ต้องการการใช้งานขับเคลื่อนแบบไร้ระเบียบหรือต้องการการสุ่มค่าที่ยากต่อการทำนายแบบแผน

ผลสัมฤทธิ์ของโครงการ

<u>ผลลัพธ์</u>

ได้ผลงานเบื้องต้นที่เข้าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 2 ชิ้นคือ

1. ผลงานในส่วนของชุดควบคุมติดตามเป้าหมายแบบ PLL-Fuzzy PD ที่ใช้เป็นตัวควบคุมสู่ค่าที่ตั้งไว้ที่กำเนิดโดยสัญญาณอลวนแบบดิจิตอลเพื่อขับเคลื่อนหุ่นยนต์ โดยบทความวิชาการนี้ได้รับแล้วและรอการตีพิมพ์ลงในวารสาร Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems (ดู ภาคผนวก ก.)
2. ผลงานในส่วนการประยุกต์องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยในเรื่องระบบสื่อสารการเข้าวิทยาการรหัสลับ ได้ยื่นจดสิทธิบัตินานาชาติ PCT คำขอเลขที่ PCT/SG2006/000299

ผลงานในส่วนอื่น ๆ ตั้งแต่การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ การสร้างจริงและการประยุกต์อื่น ๆ ที่ได้ตีพิมพ์ในที่ประชุมนานาชาติที่ปรากฏในภาคผนวก ข. และการสร้างต้นแบบในภาคผนวก ค. สามารถมาเรียบเรียงใหม่ให้เข้มข้นขึ้นแล้วส่งตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติหรือจดสิทธิบัตรได้อีกหลายเรื่องด้วยกัน ซึ่งผู้วิจัยจะพยายามหาโอกาสเรียบเรียงและทยอยส่งไปตีพิมพ์และจดสิทธิบัตรอย่างต่อเนื่อง

<u>ผลพลอยได้</u>

- ด้านการสื่อสาร
  -ได้ต้นแบบระบบป้องกันการดักฟังทางโทรศัพท์ด้วยสัญญาณอลวนแสดงดังรูป 56

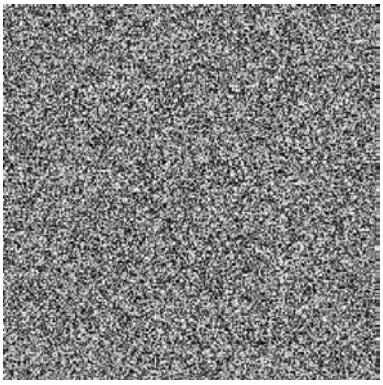
รูปที่ 56 ต้นแบบระบบการเข้ารหัสเสียงด้วยสัญญาณอลวน

[ดู **http://www.nationmultimedia.com/2007/01/26/national/national_30025100.php**]

-ได้ระบบการเข้ารหัสลับภาพด้วยสัญญาณอลวน

ผู้วิจัยและนักศึกษาได้ร่วมกันพัฒนาการเข้ารหัสลับด้วยสัญญาณอลวนในรูปแบบของตนเอง ซึ่งเป็นการนำเอากระสวนอลวนหลาย ๆ ชนิดมาใช้ร่วมกันให้เกิดความซับซ้อนในการถอดรหัสยิ่งขึ้น ซึ่งกำหนดระบบให้ทำงานประสานกันทั้งที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์แสดงดังรูปที่ 57 ส่วนของผลการเข้ารหัสแสดงดังรูปที่ 58 (ก) และ (ข) [ดู **http://www.kmitl.ac.th/grad_eng/www/TheSis/5_48/su%20su%20Maung.pdf**]

รูปที่ 57 ต้นแบบอุปกรณ์ Hard Lock ในส่วนของการเข้ารหัสภาพเทียบกับเหรียญบาท

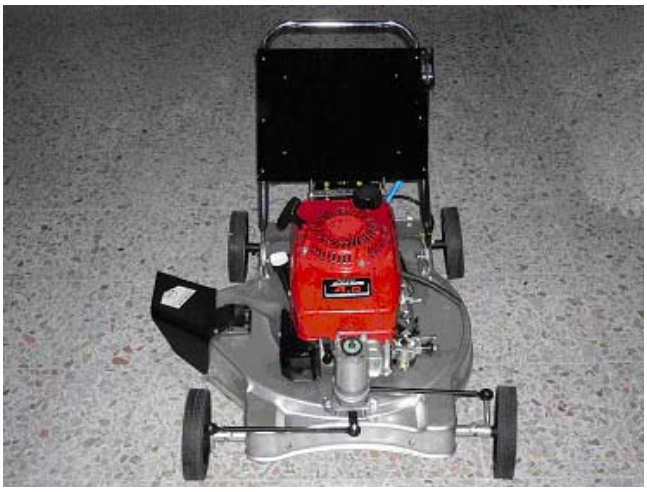


(ก) (ข)

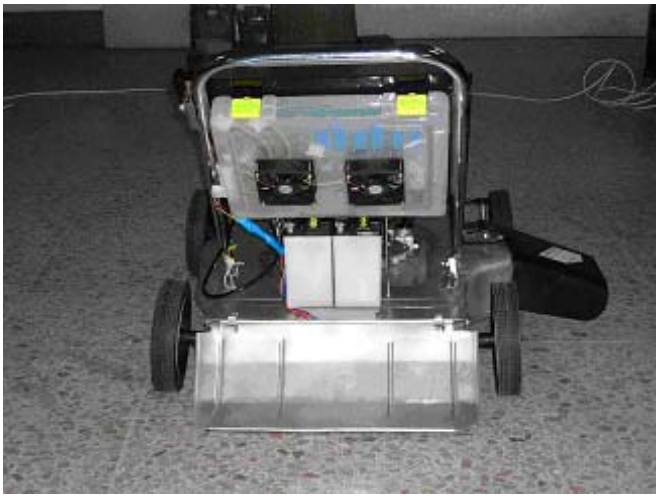
รูปที่ 58 (ก) ภาพก่อนการเข้ารหัสลับ (ข) ภาพหลังการเข้ารหัสลับด้วยสัญญาณอลวน

- ด้านเครื่องใช้อำนวยความสะดวก

-ได้ต้นแบบเครื่องตัดหญ้าขับเคลื่อนด้วยสัญญาณอลวนแสดงดังรูปที่ 59 การทดลองตัดหญ้าในภาคสนามได้ทดลองตัด ณ บริเวณสนามหญ้าใกล้โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. แสดงดังรูปที่ 60 ได้ผลการทดลองใกล้เคียงกับที่ประมาณไว้และครอบคลุมพื้นที่คาดหมาย



(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

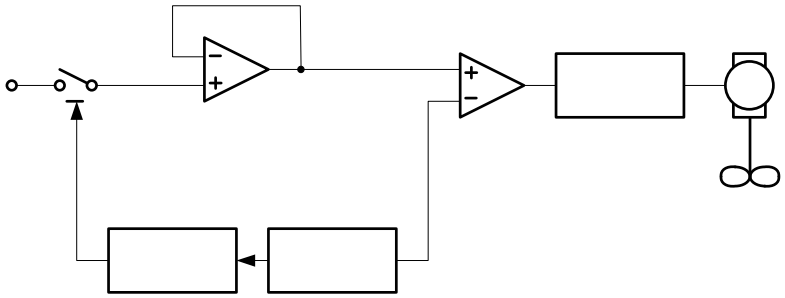
รูปที่ 59 หุ่นยนต์ตัดหญ้าขับเคลื่อนอัตโนมัติด้วยสัญญาณอลวน

(ก) ก่อนตัด

(ข) หลังตัด

รูปที่ 60 การทดลองตัดหญ้าโดยใช้หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนอัตโนมัติด้วยสัญญาณอลวน ณ บริเวณสนามหญ้าใกล้โรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- ด้านอุตสาหกรรมการปั่นผสมไบโอดีเซล
  - ได้ต้นแบบระบบขับวงจรปั่นผสมไบโอดีเซลขนาดใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นแนวทางขยายผลต่อยอดสู่การประยุกต์ทางอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล (ดูภาคผนวก ค.) โดยวงจรแสดงหลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 61 และการสร้างจริงของอุปกรณ์สำหรับปั่นผสมขนาดเล็กแสดงในรูปที่ 62 ผลของการปั่นผสมระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือนกับเมธานอลโดยมี KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลดังรูปที่ 63 ส่วนบนสีเหลืองเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ส่วนล่างสีน้ำตาลเป็นกลีเซอรีลซึ่งแยกชั้นออกมา พบว่า การปั่นผสมแบบอลวนนี้ ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแต่เกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงกันกับแบบปั่นผสมแบบปกติ



รูปที่ 61 แผนภาพหลักการทำงานของวงจรอลวนสำหรับเครื่องปั่นผสมไบโอดีเซลสำหรับห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 62 เครื่องปั่นผสมแบบอลวน

รูปที่ 63 ผลจากการทดลองปั่นผสมแบบอลวน

- ด้านงานบริการการออกสลากกินแบ่ง

- ได้ต้นแบบ เครื่องออกสลากกินแบ่งรัฐบาลด้วยระบบ Truly Random Generator จากระบบกำเนิดเลขสุ่มแบบใช้กระสวนอลวน แสดงต้นแบบในรูปที่ 64

รูปที่ 64 เครื่องออกสลากกินแบ่งแบบการออกเลขสุ่มจริงโดยใช้กระสวนอลวน

ภาพจาก http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9480000142406

- ด้านความมั่นคงชาติ

ได้แนวทางการประยุกต์ในด้านความมั่นคงแห่งชาติ วงจรขับเคลื่อนล้อหุ่นยนต์ด้วยสัญญาณอลวนที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำมาใช้กับรถตัดวัชพืชระยะไกลที่ผู้วิจัยได้เคยทำวิจัยร่วมกับศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร มาปรับเปลี่ยนจานตัดให้เป็นเครื่องตรวจทุ่นระเบิดและปรับให้สามารถเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 65 โปรดดู
http://www.moe.go.th/jarawporn/genius/22012550_1.htm

รูปที่ 65 ต้นแบบรถตัดวัชพืชควบคุมระยะไกลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยเปลี่ยนจานตัดเป็นจานตรวจทุ่นระเบิดและเปลี่ยนการขับเคลื่อนล้อให้เป็นแบบขับด้วยกระสวนอลวน

สำหรับรายละเอียดที่เป็นส่วนของงานวิจัยปลายน้ำ หรือ down stream research ส่วนหนึ่งได้แสดงในภาคผนวก ค. องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยยังคงศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อนำผลที่ยังไม่ได้เผยแพร่ไปตีพิมพ์เพิ่มเติมในวารสารนานาชาตินอกเหนือจากที่ได้ตีพิมพ์และจดสิทธิบัตรไปแล้ว ดังแสดงใน ภาคผนวก ก.

บรรณานุกรม

[1] Sekiguchi, A. and Nakamura, Y, “The chaotic mobile robot,” IEEE Trans. on Robotic and Automation, Vol. 17, No. 6, 2001, pp. 898-904.

[2] Sekiguchi, A., and Nakamura, Y., “Behavior control of robot using orbits of nonlinear dynamics, IEEE Intl. Conf. On Robotics & Automation, 2001, pp. 1647-1652.

[3] Bae, Y., “Target searching method in the chaotic mobile robot,” Digital Avionics Systems Conference, vol 2, Oct. 24-28, 2004, pp. 12.D.7-12.1-9.

[4] Klomkarn, K., and P. Sooraksa, “Further investigation on trajectory of chaotic guiding signals for robotic systems,” IEEE Symposium on Communications and Information Technology, vol. 2, Oct 26-29, 2004, pp. 1166-1170.

[5] Sooraksa, P., Pattaradej, T. and Chen, G., “Fuzzy P^2ID Control for a Bicycle Robot,” Journal of Computer-Aided Engineering, Vol. 9, No. 4, 2002, pp. 319-331.

[6] P. Sooraksa, and G. Chen, “Mathematical Modeling and Fuzzy Control for a Flexible-link Robot Arm,“J. of Mathematical and Computer Modeling, 1998, p. 73-93.

[8] Chen, G. and Dong, X. From Chaos to Order: Methodologies, Perspectives and Applications 750pp., World Scientific Pub. Co., Singapore, 1998.

[9] Chen, G., and Ueta, T, Chaos in Circuits and Systems, 650pp., World Scientific Pub. Co., Singapore, 2002.

[10] Chen, G. Controlling Chaos and Bifurcations in Engineering Systems 630pp., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1999.

[11] Yang, X. S., and Chen, G., “Can state feedback stabilize a chaotic orbit uniformly and asymptotically in the sense of orbital stability?”, Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 15, pp. 297-302, Feb. 2003.

[12] Yang, L., and Chen, G., “Chaotifying a continuous-time system near a stable limit cycle,” Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 15, pp. 245-254, Feb. 2003.

[13] Ueta, T., and Chen, G., “On synchronization and control of coupled Wilson-Cowan neural oscillators,” Int. J. of Bifur. Chaos, Vol. 13, pp. 163-175, Jan. 2003.

[14] Liao, X.X., and Chen, G., “Chaos synchronization of general Lur’e systems via time-delay feedback control,” Int. J. of Bifur. Chaos, Vol. 13, pp. 207-213, Jan. 2003.

[12] Liu, W. B., and Chen, G. “A new chaotic system and its generation,” Int. J. of Bifur. Chaos, Vol. 13, pp. 261-267, Jan. 2003.

[13] Sooraksa, P., Luk, B. L., Tso, S. K., and Chen, G., Multi-purpose Autonomous Robust Carrier for Hospitals (MARCH): Design and Implementation, *Mechatronics and Machine Vision 2002: Current Practice Edited by R. Bradbeer and J. Billingsley*, pp. 287-294.

[14] Brooks, R. A., "A robust layered control system for a mobile robot," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 2, no. 1., pp. 14-23, 1986.

[15] Hartley, R., and Pipitone, F., "Experiments with the subsumption architecture," Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation,vol.2, pp. 1652 –1658, 1991.

[16] Luo, R.C., and Chen, T. M., "Development of a multi-behavior based mobile robot for remote supervisory control through the Internet," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 5, Issue: 4 , pp. 376 –385, 2000.

[17] Rosenblatt, J., Williams, S., and Durrant-Whyte, H., "Behavior-based control for autonomous underwater exploration," Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 920-925, 2000.

[18] Kitamura, T., Otsuka, Y., and Nakao, T., "Imitation of animal behavior with use of a model of consciousness-behavior relation for a small robot," Proceedings of IEEE Intl. Workshop on Robot and Human Communication, pp. 311-317, 1995.

[19] Wang, L. X., A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall, 1997.

[20] Sooraksa, P., Li, C. W., and Damrongporn, P., "A new hybrid fuzzy propotional-derivative phase-locked-loop controller for DC servomotor speed control," to be appeared in Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems.

[21] Klomkarn, K., and Sooraksa, P., "Implementation of a true random number generator using Chen's attractor," Proc. of the Intenational Conference on Robotics, Vision, Information and Signal Processing, ROVISP2005, pp. 781-784, 2005.

[22] Jansri, A., Klomkarn, K., and Sooraksa, P., "On comparison of attractors for chaotic mobile robots," Proc. IEEE Industrial Electronics Society, pp. 2536-2541, 2004.

[23] Klomkarn, K. and Sooraksa, P., "Implementation on "No-CPU" Chaotic Robots," Proc. the 5th Asian Syamposium on Applied Electromagnetics and Machanics, 2005.

[24] Chanvech, C., Klomkarn, K., and Sooraksa, P., "Combined chaotic attractor mobile robots," Int. Joint Conf. SICE-ICASE, pp. 3079-3082, 2006.