

การศึกษาเชิงทดลองการควบคุมติดตามแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง ด้วยตัวควบคุมชนิดฟัซซี่

Experimental Studies of Sound Source Tracking Control using a Fuzzy Logic Controller

เอก ศิริลาภพานิช¹, มานพ คงคานิติ² และ สุวัฒน์ กุลธนาปรีดา³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ. พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 0-29132500 ต่อ 8308 โทรสาร 0-5870026

Aek Sirilappanich, Manop Kongkaniti, and Suwat Kuntanapreeda
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
1518 Pibulsongkram Rd. Bangsue, Bangkok 10800
Tel. 0-29132500 ext. 8308 Fax. 0-5870026

บทคัดย่อ

ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคไมโครโฟนคู่ในการควบคุมเพื่อติดตามแหล่งกำเนิดเสียง [1] ซึ่งพบว่าตัวควบคุมสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงได้ แต่ยังคงมีความผิดพลาดของขนาดเนื่องจากผล Directivity ของแหล่งกำเนิดเสียง [1] ในบทความนี้คณะผู้วิจัยเสนอผลลัพธ์การควบคุมใหม่ที่ได้แก้ไขผล Directivity โดยการป้อนกลับสัญญาณค่ามุมของมอเตอร์เพิ่มเติม ซึ่งตัวควบคุมที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้มีทั้งแบบ PI และ Fuzzy-PI และผลการศึกษาพบว่าตัวควบคุมแบบ PI และ Fuzzy-PI สามารถควบคุมติดตามแหล่งกำเนิดเสียงได้ดีใกล้เคียงกัน โดยผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Fuzzy-PI มีความสม่ำเสมอมากกว่า

Abstract

In the 16th Mechanical Engineering Network of Thailand the authors of this paper applied a microphone pair technique for tracking control a moving sound source. We found that the controller is able to track the sound source, but there is an error in magnitude causing by the directivity effect of the source [1]. In this current paper we present new control results

that the error is solved by feeding back the angular position of the motor shaft to correct the directivity effect. We experimentally study using both classical PI and Fuzzy-PI logic controllers. The study results show that the PI and Fuzzy-PI controllers are able to track the sound source. The responses of the PI-Fuzzy control system are smoother than of the PI.

1. บทนำ

การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้ไมโครโฟนมากกว่าหนึ่งตัวได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานหลายอย่าง [2,3] เช่น การหมุนตัวกล้องในงาน Teleconferencing โดยไม่ต้องมีคนควบคุม, อุปกรณ์ช่วยการได้ยิน รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเคลื่อนที่ ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้เสนอผลการศึกษาโดยใช้เทคนิคไมโครโฟนคู่ในการควบคุมเพื่อติดตามแหล่งกำเนิดเสียงที่เคลื่อนที่ไปมา ซึ่งผลการศึกษาพบว่าตัวควบคุมสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงได้ดีที่ทางถูกต้อง แต่ยังคงมีความผิดพลาดของขนาดเนื่องจากผลของ directivity ของแหล่งกำเนิดเสียง [1]

ในบทความนี้คณะผู้วิจัยเสนอผลการศึกษาที่ต่อเนื่องจากที่ได้ดำเนินการมาแล้วใน [1] โดยได้มีการแก้ไขผลกระทบของ Directivity

¹ อดีตนักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

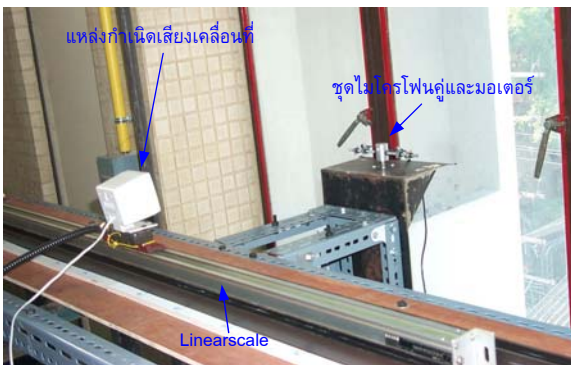
² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

³ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และนักวิจัยศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัจฉริยะ

และตัวควบคุมที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบ PI และ Fuzzy-PI ส่วนชุดทดลองที่ใช้ศึกษานั้นยังเป็นชุดเดียวกันกับที่ใช้ใน [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 และมีระบบการทำงานของดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีข้อสังเกตว่าในที่นี่มีการป้อนกลับสัญญาณจากตำแหน่งมุมของมอเตอร์ด้วย เพื่อใช้แก้ไขผลของ Directivity ส่วนค่าตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงที่วัดได้จาก Linearscale นั้นเช่นเดียวกับใน [1] คือ ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมแต่อย่างไร จุดประสงค์ของการติดตั้ง Linearscale ก็เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของการควบคุมเท่านั้น

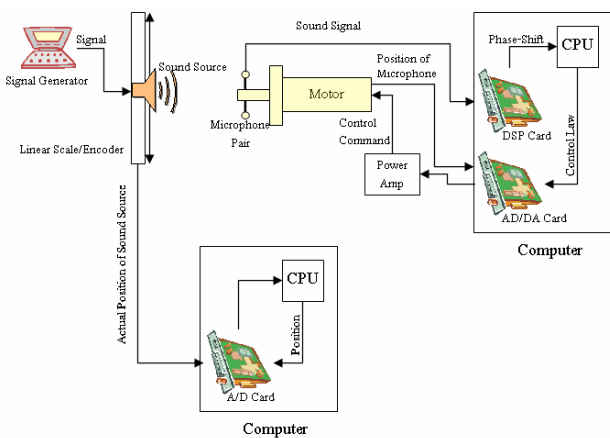


(ก)



(ข)

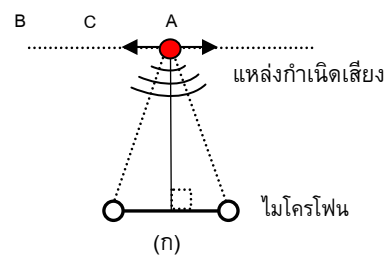
รูปที่ 1 ชุดทดลองที่ใช้ศึกษา (ก) ไมโครโฟนคู่ (ข) แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด



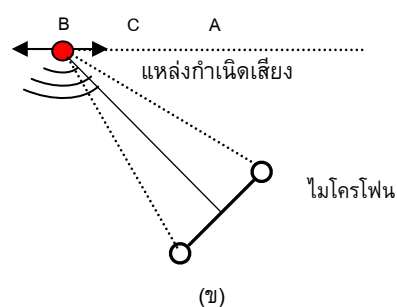
รูปที่ 2 อุปกรณ์ระบบ

2. การติดตามตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงและผล Directivity

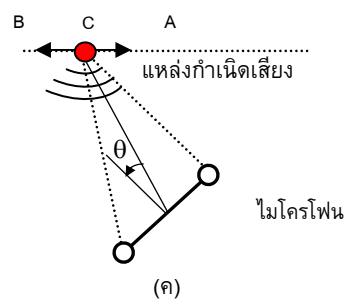
หลักการการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงในเชิงอุดมคติที่สมมุติว่าแหล่งกำเนิดเสียงเป็น Ideal Sound Source ซึ่งจะแผ่คลื่นเสียงออกเท่ากันทุกทิศทาง มีหลักการโดยย่อดังนี้ พิจารณารูปที่ 3(ก) และ 3(ข) ซึ่งเป็นกรณีที่มีมุมของตัวไมโครโฟนคู่หันหน้าตรงกับแหล่งกำเนิดเสียงพอดี นั่นคือ แหล่งกำเนิดเสียงอยู่ระหว่างกลางของไมโครโฟนทั้งสอง ดังนั้นคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงจะเดินทางไปถึงไมโครโฟนทั้งสองตัวพร้อมกัน ส่งผลให้สัญญาณเสียงที่วัดได้จากไมโครโฟนทั้งสองจะมีค่ามุมที่เท่ากัน (Phase-shift = 0) ในกรณีที่แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนไปทางซ้ายหรือขวาจากตำแหน่งกลาง เช่น เคลื่อนจากตำแหน่ง B มาที่ C ในขณะที่ไมโครโฟนยังหันหน้าไปที่ B ดังแสดงในรูปที่ 3(ค) ส่งผลให้คลื่นเสียงเดินทางไปถึงไมโครโฟนทั้งสองไม่พร้อมกัน ดังนั้นสัญญาณเสียงที่วัดได้จากไมโครโฟนทั้งสองจะมีค่ามุม Phase-shift กัน ซึ่งค่ามุม Phase-shift นี้จะใช้คำนวณหามุม Relative Position θ ของแหล่งกำเนิดเสียงได้ ในการควบคุมติดตามแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ค่ามุม Phase-shift และค่ามุม Relative Position θ ของแหล่งกำเนิดเสียง จะถูกคำนวณหาแบบ Real-time ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วใน [1] และตัวควบคุมจะนำค่ามุม θ นี้มาคำนวณหาคำสั่งสัญญาณควบคุมตามกฎการควบคุม (Control law) ที่ออกแบบไว้เพื่อหมุนไมโครโฟนซึ่งติดตั้งอยู่กับมอเตอร์ให้หันหน้าเข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง โดยรักษาให้มุม θ เป็นศูนย์ตลอดเวลา ดังเช่นในรูปที่ 3(ก) และ 3(ข)



(ก)



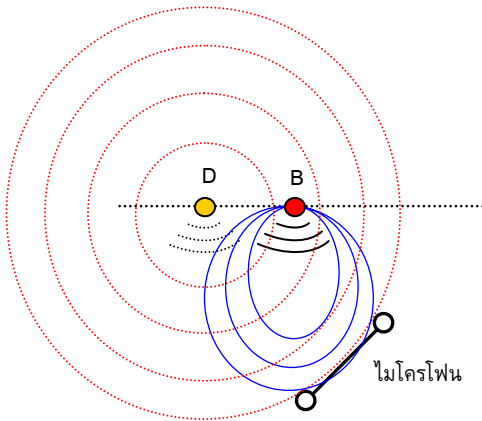
(ข)



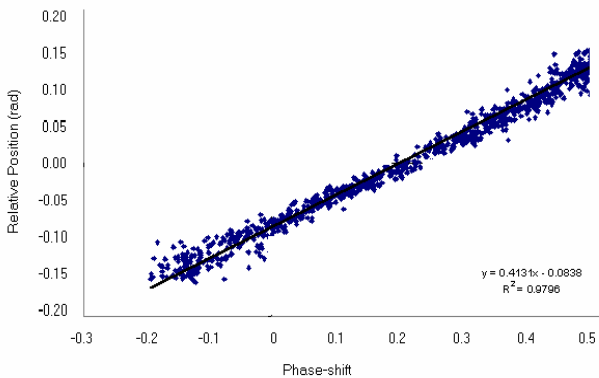
(ค)

รูปที่ 3 แสดงการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียง

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่ใช้ลำโพงเป็นแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งเนื่องจากลำโพงเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่ไม่เป็น Ideal Sound Source นั่นคือ พลังงานเสียงแผ่ออกไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยสังเกตได้ชัดเจนว่าเสียงที่ได้ยินเมื่อยืนอยู่ด้านหน้าของลำโพงมีความดังสูงกว่าเมื่อยืนอยู่ด้านข้างและด้านหลัง ปรากฏการณ์นี้บ่งบอกว่าถึง Directivity ของลำโพง ดังนั้นในกรณีของรูปที่ 3(ข) สัญญาณเสียงที่วัดได้จากไมโครโฟนในกรณีที่ใช้แหล่งกำเนิดเสียงไม่เป็น Ideal Sound Source จะมีค่ามุม Phase-shift เช่นกัน ส่งผลให้การควบคุมติดตามแหล่งกำเนิดเสียงมีข้อผิดพลาดเนื่องจากผลของ Directivity ดังเสนอไปแล้วใน [1] ซึ่งไมโครโฟนจะเข้าใจว่าลำโพงเป็น Ideal Sound Source อยู่ที่ตำแหน่ง D แทนที่จะเป็นตำแหน่ง B ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในรูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงตัวอย่างของข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลองในกรณีที่มุมของมอเตอร์เท่ากับ 10 องศา จะสังเกตว่าค่า Phase-shift ไม่เท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งมุม Relative Position θ เป็นศูนย์ ซึ่งเนื่องมาจาก Directivity ของลำโพง



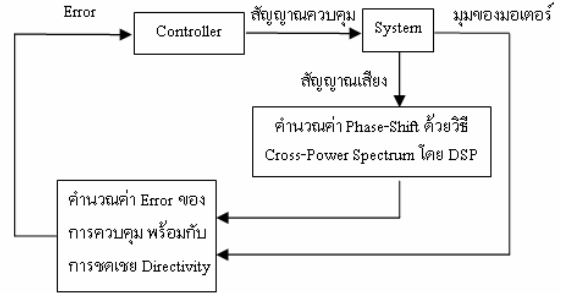
รูปที่ 4 แสดงความผิดพลาดเนื่องจาก Directivity



รูปที่ 5 ข้อมูลความสัมพันธ์กรณีมุมมอเตอร์เท่ากับ 10 องศา

บทความนี้ได้ทำการแก้ไขผลของ Directivity โดยการป้อนกลับค่ามุมของไมโครโฟน เพื่อคำนวณหาค่าชดเชยความผิดพลาดของการติดตามที่เกิดขึ้น ซึ่งค่ามุมของไมโครโฟนในการศึกษานี้วัดได้โดยตรงจาก Potentiometer ที่ติดตั้งอยู่กับมอเตอร์ ดังแสดงในแผนผังการควบคุมในรูปที่ 2 และ 6 ส่วนสมการความสัมพันธ์

ระหว่างค่ามุมของไมโครโฟนและค่าชดเชยความผิดพลาดหาได้จากค่า Phase-shift ณ ตำแหน่งมุม Relative Position เท่ากับศูนย์ โดยทำการทดลองที่ค่ามุมของไมโครโฟนต่างๆ ตารางที่ 1 สรุปค่า Phase-shift ในกรณีมุม Relative Position เท่ากับศูนย์ ณ มุมมอเตอร์ต่างๆ และในที่นี้ได้ทำการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมมอเตอร์และค่า Phase-shift ด้วยสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 4 เพื่อใช้ในการชดเชยค่า Directivity



รูปที่ 6 แผนผังการควบคุม

ตารางที่ 1

| ค่ามุมมอเตอร์ | Phase-shift |
|---------------|-------------|
| -20 | 0.0665 |
| -10 | 0.0222 |
| 0 | 0.0 |
| 10 | 0.0838 |
| 20 | 0.2119 |

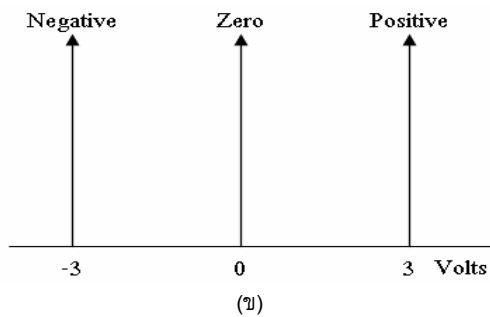
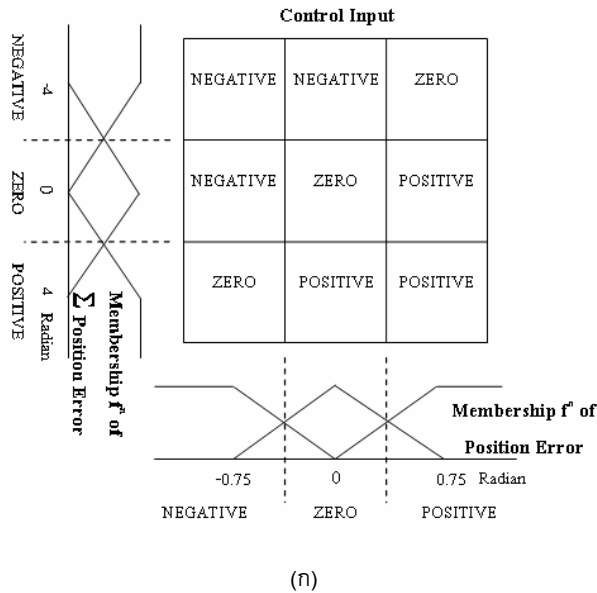
3. ฟัซซีเซ็ทและการควบคุมแบบ PI-Fuzzy [4]

แตกต่างไปจากระบบเซ็ทแบบดั้งเดิมที่รู้จักกันทั่วไป ฟัซซีเซ็ทเป็นเซ็ทที่สมาชิกของเซ็ทมีการกำหนดที่คลุมเคลือไม่ชัดเจน เช่น เซ็ท A เป็นเซ็ทของเลขจำนวนจริงที่มีค่า "ใกล้ศูนย์" ถามว่า $x = 0.01$ ใช่เป็นสมาชิกของ A หรือไม่? คำตอบอาจจะเป็นได้ทั้งใช่หรือไม่ใช่ เพราะว่า A เป็นฟัซซีเซ็ท โดยในระบบฟัซซีเซ็ทจะกำหนดความเป็นสมาชิกของ A ด้วยค่าจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1 แทน เรียกว่า membership function เช่นในตัวอย่างข้างต้นอาจจะบอกว่า x เป็นสมาชิกของ A ด้วยค่า membership function เท่ากับ 0.85 ในขณะที่เดียวกัน x ก็เป็นสมาชิกของเซ็ทอื่นด้วย เช่น เป็นสมาชิกของเซ็ท B ซึ่งเป็นเซ็ทของเลขจำนวนจริงที่มีค่า "ใกล้สิบ" ด้วยค่า membership function เท่ากับ 0.05 เป็นต้น

เป็นที่รู้กันดีว่าข้อได้เปรียบของระบบฟัซซี คือ ความง่ายในการแปลงการคิดหรือประสบการณ์ของมนุษย์ให้เป็นคณิตศาสตร์แบบฟัซซีที่สามารถจะโปรแกรมเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ได้ทันทีอย่างเป็นระบบ การคิดของมนุษย์เป็นฟัซซี จะเห็นได้จากว่า เราจะคิดในลักษณะที่ว่าผู้หญิงคนนั้นอายุน่าจะ "ประมาณ 28 ปี" แทนที่จะคิดว่าเธออายุ 27 ปี 4 เดือน 3 วัน 4 ชั่วโมง 42 นาที และ 12 วินาที เป็นต้น หัวใจของการควบคุมแบบฟัซซี คือ IF-THEN rules เช่น IF ค่าความผิดพลาดของการควบคุม "มากไป" THEN ให้กำหนดค่า

สัญญาณควบคุม“เพิ่มขึ้น” เป็นต้น จะสังเกตว่าค่าว่า “มากไป” และ “เพิ่มขึ้น” เป็นค่าที่มีความคลุมเคลือไม่ชัดเจน นั่นคือ เป็นฟัซซี่นั่นเอง

ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ใช้ในบทความนี้เป็นตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PI โดยใช้รูปแบบฟัซซี่ของ Mamdani [4] โดยมีตัวแปรอินพุทของตัวควบคุมประกอบไปด้วย ค่า tracking error $e(n)$ และค่าอินทิเกรตของ tracking error ซึ่งประมาณด้วยค่า $\sum_{i=0}^n e(i)$ โดยค่า $e(n)$ ในที่นี้ คือ ค่ามุม Relative Position θ ซึ่งหาได้โดยตรงจากค่า Phase-shift ที่วัดได้จากไมโครโฟนทั้งสอง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รูปที่ 7(ก) แสดงการแบ่งเซตของตัวแปรของอินพุท โดยฟัซซี่เซต Zero กำหนด membership function เป็นฟังก์ชันสามเหลี่ยม ในขณะที่ฟัซซี่เซต Positive และ Negative เป็นฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนในแต่ละช่องหน้าต่างสี่เหลี่ยมเล็กเป็น IF-THEN rule



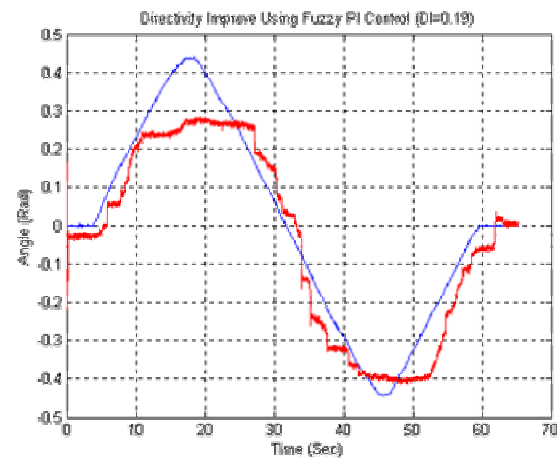
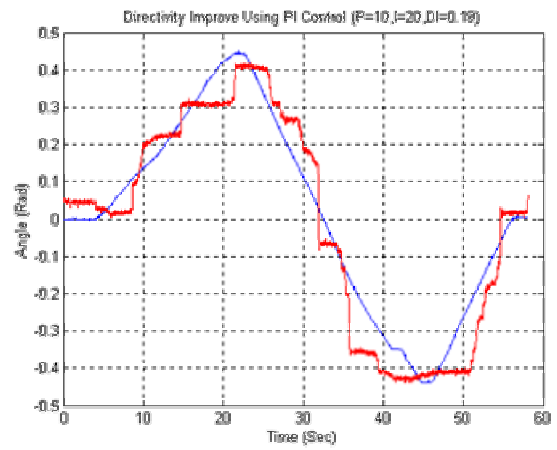
รูปที่ 7 การควบคุมแบบฟัซซี่ (ก) อินพุทฟัซซี่เซตและกฎการควบคุม (ข) เอาท์พุทฟัซซี่เซต

สำหรับเอาท์พุทของตัวควบคุม ซึ่งคือค่าสัญญาณควบคุมนั่นเอง เช่น ในช่องซ้ายมือบนสุด หมายความว่า IF ค่า $e(n)$ เป็นมีค่า Negative และค่า $\sum_{i=0}^n e(i)$ มีค่าเป็น Negative THEN ให้เอาท์พุทค่าสัญญาณควบคุมเป็น Negative เป็นต้น ในที่นี้กำหนด

ฟัซซี่เซตของเอาท์พุทเป็น Fuzzy Singleton ซึ่งมี membership function ของแต่ละเซตเป็นค่าเดียว ดังแสดงในรูปที่ 7(ข) และค่าแต่ละเซตจะถูกรวมกันด้วยขบวนการรวมวิธี Mamdani minimum inference จากนั้น เนื่องจากค่าเอาท์พุทนี้ยังคงเป็นฟัซซี่อยู่เช่นกัน ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงจำเป็นต้องถูกแปลงกลับเป็นค่าจริง ที่สามารถใช้ในการควบคุมได้ ซึ่งในที่นี้เป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ในบทความนี้เลือกการแปลงค่าวิธี center average defuzzification [4]

6. ผลลัพธ์และปัญหา

ผลลัพธ์จากการทดลองพบว่าทั้งตัวควบคุมแบบ PI และ Fuzzy-PI สามารถควบคุมให้ไมโครโฟนหมุนติดตามการเคลื่อนที่ของลำโพงได้อย่างดีระดับหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งสังเกตว่าไม่เกิดความผิดพลาดของขนาดเนื่องจากผลของ Directivity เหมือนในการศึกษาที่ผ่านมา [1] นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PI มีแนวโน้มให้ผลตอบสนองของการควบคุมที่เรียบสม่ำเสมอกว่าของตัวควบคุม PI ซึ่งการกระตุกไม่สม่ำเสมอนี้เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในมอเตอร์เองทำให้ระบบมีความไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 8 ผลตอบสนองของการควบคุม (ก) การควบคุมแบบ PI (ข) การควบคุมแบบ Fuzzy-PI

นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบปัญหาว่า ความถูกต้องของการประมาณตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงที่ใช้เป็นค่าสัญญาณป้อนกลับของการควบคุมนั้น มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูง และสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ในการชดเชยผลของ Directivity นั้น แปรเปลี่ยนตามความถี่ของเสียงด้วย ส่งผลให้การชดเชยทำได้ไม่สะดวกในกรณีที่ไม่ทราบความถี่ของเสียงล่วงหน้า หรือจำเป็นต้องสร้างสมการความสัมพันธ์ใหม่ที่มีความถี่ของเสียงเป็นตัวแปรด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] เอก ศิริลาภพานิช, มานพ คงคานิติ และ สุวัฒน์ กุลธนปรีดา, "การควบคุมติดตามแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้เทคนิคไมโครโฟนคู่"

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 14-16 ตุลาคม 2545 จังหวัดภูเก็ต

[2] Arye Nehorai and E. Paldi, "Acoustic Vector-Sensor Array Processing", IEEE Signal Processing, Vol.42, No.9, Sep. 1994

[3] Daniel V. Rabinikin, Richard J. Renomeron, Arthur Dahl, Joseph C. French and James L. Flanagan, "A DSP Implementation of Source Location Using Microphone Arrays", Proceedings of the SPIE, Denver, August 1996

[4] Hao Ying, Fuzzy Control and Modeling, Analytical Foundations and Application, IEEE Book, 2000