

การควบคุมเสียงรบกวนหลายความถี่แบบแอคทีฟด้วยวิธีตัวกรองเลือกความถี่ Multi-Band Active Noise Control Using Frequency Selective Filter Method

ธนพงศ์ ทศนเมธิน และ สุวัฒน์ กุลธนปรีดา
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 0-2913-2500 โทรสาร 0-2913-2618

Tanapong Thassanamethin and Suwat Kuntanapreeda
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

1518 Pibulsongkram Rd. Bangsue Bangkok 10800 Tel. 0-2913-2500 Fax 0-2913-2618

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลดเวลาในการลดลงของเสียงของการควบคุมเสียงแอคทีฟแบบป้อนไปข้างหน้า สำหรับเสียงรบกวนที่ประกอบด้วยความถี่หลายความถี่ เทคนิคที่ใช้คือการแยกความถี่ของสัญญาณรบกวนออกจากกัน สัญญาณเสียงด้านอินพุตถูกแยกออกเป็นย่านตามที่กำหนดไว้ด้วยตัวกรองความถี่เฉพาะย่าน ก่อนที่จะถูกส่งให้ตัวควบคุม และตัวควบคุมแต่ละตัวจะคำนวณสัญญาณควบคุมอย่างอิสระ โดยใช้สัญญาณที่ผ่านตัวกรองแล้ว ผลการศึกษาด้วยการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากชุดทดลองจริงในการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ พบว่า วิธีการแยกความถี่เสียงนี้สามารถทำให้การลดลงของเสียงเร็วขึ้น 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้แล้ว บทความนี้ยังได้ทดลองการแยกเสียงทั้งด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต (สัญญาณผลต่าง) พบว่าการเพิ่มการแยกเสียงด้านเอาต์พุตไม่ได้ช่วยลดอัตราการลดลงของเสียงอย่างเด่นชัด ในขณะที่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า ดังนั้นการแยกความถี่เสียงรบกวนเฉพาะทางด้านอินพุตถือว่าเพียงพอสำหรับการช่วยลดการลดลงของเสียง

Abstract

This research presents a technique to improve the convergence time of feed-forward multi-band active noise control. The technique is based on frequency separation. Assuming that the frequency bands of the noise are roughly known, the input signal from the noise source is divided into different bands using band-pass filters prior passed to the controllers. Each controller independently computes the control signal based on the corresponding filtered signals. In computer simulation where the mathematical model was determined using the real data collected

from our existing apparatus, we found that the presented technique can improve the convergence rate up to 5 times compared to the conventional algorithm. Moreover, we also tried to apply the frequency separation to both the signal from the noise source and the error signal to gain more the convergent rate. However, the results showed no significant improvement whereas more computational time is needed. Therefore, using only frequency separation on the input signal is sufficient.

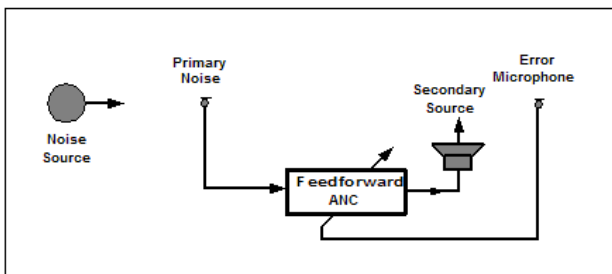
1. บทนำ

ทุกวันนี้โลกของเรามีเสียงมากมาย ทั้งในรูปแบบที่ต้องการและไม่ต้องการ ในด้านที่เป็นประโยชน์นั้น วิศวกรใช้เสียงสำรวจท้องทะเล ชาวประมงใช้เสียงในการจับปลา แพทย์ใช้เสียงตรวจดูอวัยวะภายในร่างกาย นักวิทยาศาสตร์ใช้เสียงสำรวจสภาวะอากาศและภูมิประเทศ เสียงดนตรีทำให้จิตใจเบิกบาน เป็นต้น ในทางโทษเสียงที่ดังมากๆ และติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้จิตใจและประสาทหูเสื่อม คนงานที่ทำงานในโรงงานที่มีเสียงดังมากจะเป็นโรคหัวใจ โรคหอบ โรคถุงลม มากกว่าคนที่ทำงานในบริเวณสงบเงียบ เสียงดังจะรบกวนทำให้คุณภาพของการพักผ่อนเสื่อม

จากโทษของเสียงข้างต้น จึงได้มีแนวคิดในการลดมลภาวะทางเสียงให้ลดน้อยลงโดยใช้วิธีกลี้อจัมเกลื่อ คือ ปลดปล่อยเสียงออกมาเพื่อทำลายเสียงรบกวน โดยวิธีการนี้เรียกว่า Active Noise Control (ANC) อุปกรณ์ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งคลื่นที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับคลื่นเสียงสัญญาณหลักหักล้างกัน ผลของการรวมคลื่นทำให้เกิดความเงียบในความเป็นจริงแล้ว หลักการของ ANC มีมาช้านานแล้ว [3] แต่เพิ่งจะนำมาประยุกต์ใช้งานจริงเมื่อไม่นานมานี้เอง วิธีการควบคุมสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ การควบคุมการลดระดับเสียงแบบป้อนไปข้างหน้า

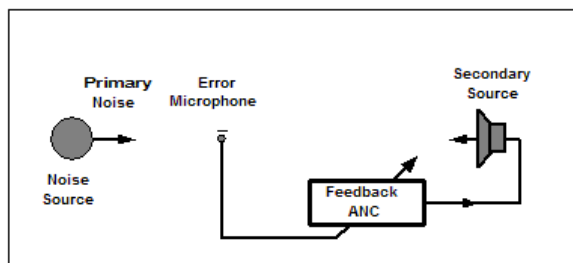
(Feedforward Control) และการควบคุมการลดระดับเสียงแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

การควบคุมการลดระดับเสียงแบบป้อนไปข้างหน้า จะต้องนำค่าจากสัญญาณเสียงรบกวนปฐมภูมิ (primary Noise) และสัญญาณจากไมโครโฟนคำผิดพลาด (Error Microphone) มาทำการประมวลผลเพื่อสร้างเสียงทุติยภูมิ (Secondary Source) เพื่อหักล้างกับสัญญาณเสียงรบกวนดังรูปที่ 1 โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยของนายสว่างทิพย์ ศรีกิจสุวรรณ [4] ได้ทำการทดลองการลดระดับเสียงในชุดทดลองการควบคุมเสียงแบบมิตติเดียวโดยใช้การควบคุมแบบ Finite Impulse Response (FIR) โดยใช้กฎการปรับตัวแบบ Least Mean Squares (LMS) และ Filtered-X Least Mean Squares (FXLMS) โดยทั้งสองวิธีจะเป็นการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าโดย LMS จะคิดเฉพาะผลของส่วนปฐมภูมิ (Primary Path) และ FXLMS จะคิดทั้งส่วนปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Secondary Path) ผลการทดลองสามารถลดเสียงได้ประมาณ 20-30 เดซิเบล ในช่วงความถี่ไม่เกิน 500 Hz



รูปที่ 1 แสดงการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

การควบคุมระดับเสียงแบบป้อนกลับ (Feedback Control) จะมีการวัดสัญญาณไมโครโฟนคำผิดพลาด (Error Microphone) เพียงจุดเดียวมาทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณกำเนิดเสียงทุติยภูมิ (Secondary Source) เพื่อไปหักล้างสัญญาณเสียงรบกวนดังรูปที่ 2 โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยของนายพงศ์ศักดิ์ นิมดำ [5] ได้ศึกษาการลดระดับเสียงแบบป้อนกลับทั้งวิธี LMS และ FXLMS สามารถลดระดับเสียงได้ประมาณ 30-40 เดซิเบล



รูปที่ 2 แสดงการควบคุมแบบป้อนกลับ

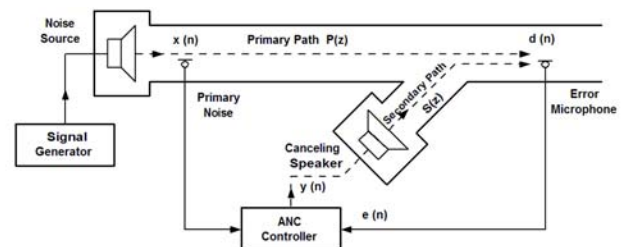
นายอนุสรณ์ เพชรสินจร [6] ศึกษาการลดระดับเสียงโดยที่ส่วนของ Secondary Path หาแบบ on-line และนำไปใช้กับทั้งแบบป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับ การหา Secondary Path แบบ on-line ทำให้ตัวควบคุมสามารถใช้งานได้ถึงแม้ Secondary Path ของระบบเปลี่ยนไป ซึ่งในงานวิจัยของแต่ละคนก็มีการทดลองลดระดับเสียงที่มีหลายความถี่

และก็สามารถลดระดับเสียงลงได้ดีในระดับหนึ่งแต่อัตราเร็วในการลดลงของเสียงจะช้าลงกว่าในกรณีที่ใช้กับเสียงรบกวนความถี่เดียว

งานวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดที่ทำให้อัตราการลดลงของเสียงเร็วขึ้นโดยการแยกความถี่ของเสียงรบกวนออกเป็นย่านความถี่ แล้วใช้ตัวควบคุม LMS แบบป้อนไปข้างหน้าจำนวนเท่ากับจำนวนย่านความถี่ที่ทำการแยกเสียง ทำการควบคุมเสียงแยกอย่างอิสระในแต่ละย่านความถี่

2. การหาเอกลักษณ์ของชุดทดลอง

ในการศึกษาพฤติกรรมระบบ การออกแบบตัวควบคุม ตลอดจนการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ เราจะต้องทราบสมการตัวแบบระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราใช้สมการตัวแบบระบบในการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ โดยสมการตัวแบบระบบหาได้จากการหาเอกลักษณ์ (System Identification) ของระบบจริง โดยระบบในที่นี้ประกอบไปด้วย ลำโพง ท่อปูน เครื่องขยายเสียง เครื่องกำเนิดสัญญาณ ฯลฯ ดังรูปที่ 3

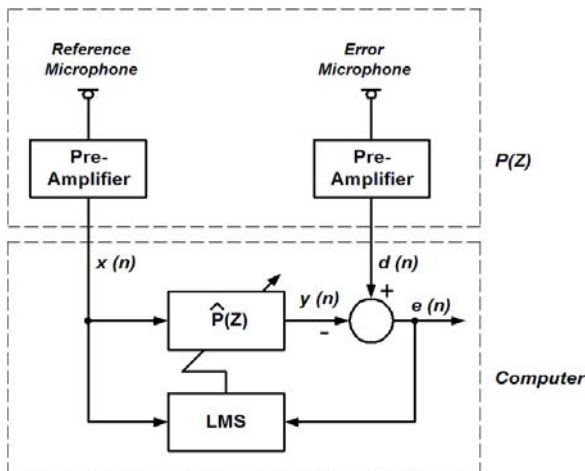


รูปที่ 3 ภาพถ่ายและแผนภาพชุดทดลองจริง

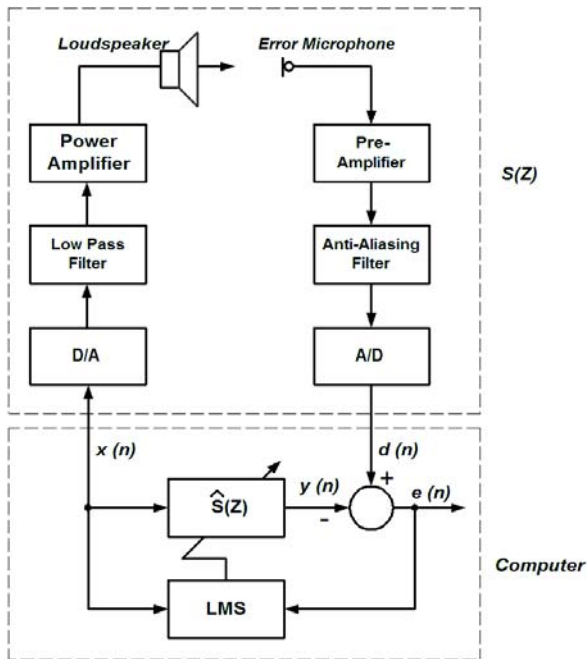
การหาเอกลักษณ์ส่วน Primary Path จะเริ่มต้นตั้งแต่ไมโครโฟนวัดเสียงรบกวนล่วงหน้า $x(n)$ ถึงไมโครโฟนวัดเสียงรบกวน ณ ตำแหน่งที่สนใจ $d(n)$ สำหรับขั้นตอนจะเริ่มจากป้อนค่าสัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณกวาดรูปไซน์ (Sweep Sinusoid Signal) ในช่วงความถี่ 50Hz ถึง 500Hz โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ ในขณะเดียวกันก็ทำการเก็บค่าสัญญาณ $x(n)$ และสัญญาณ $d(n)$ เป็นคู่ๆ ประมาณ 2000 คู่ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหา Primary Path ในคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีปรับค่าพารามิเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยสัญญาณ $x(n)$ ผ่าน FIR Filter $\hat{P}(Z)$ ได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณ $y(n)$ จากนั้นนำสัญญาณ $d(n)$ และ $y(n)$ มาหักล้างกันในโปรแกรมจะได้สัญญาณ $e(n)$

สุดท้ายนำสัญญาณ $x(n)$ และ $e(n)$ ที่ได้ไปปรับค่า $\hat{P}(Z)$ โดยใช้กฎการปรับตัวแบบ LMS ที่กล่าวมาข้างต้น ทำวนไปเรื่อยๆ จนขนาด $e(n)$ น้อยจนเข้าสู่ศูนย์

การหาเอกลักษณ์ส่วน Secondary Path จะเริ่มตั้งแต่จากสัญญาณเข้าลำโพงกำเนิดเสียงควบคุม $y(n)$ ถึงไมโครโฟนวัดเสียงรบกวน ณ ตำแหน่งที่สนใจ $d(n)$ ซึ่งประกอบไปด้วย D/A วงจรรองแบบต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ภาควิทยาสัญญาณ (Power Amplifier) ลำโพง ส่วนทางเดินของเสียงจากลำโพงไปไมโครโฟนค่าผิดพลาด (Error Microphone) วงจรรขยายภาคต้น (pre Amplifier) anti-aliasing Filter และ A/D ดังรูปที่ 5 ส่วนขั้นตอนในการหาเอกลักษณ์ก็จะใช้วิธีเดียวกันกับการหา Primary path



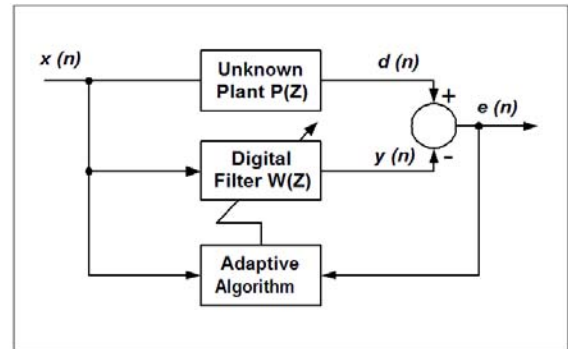
รูปที่ 4 แสดงแผนผังการหา Primary Path



รูปที่ 5 แผนผังการหา Secondary Path

3 การวิธีการปรับตัวแบบ LMS ดั้งเดิม

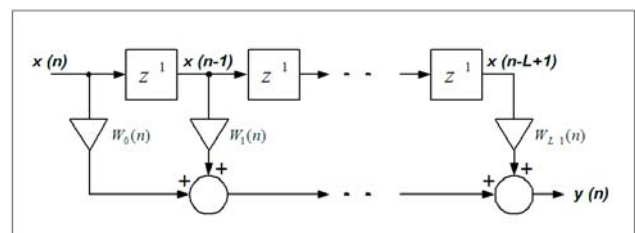
จากพฤติกรรมของเสียงและคุณสมบัติของเส้นทางที่เสียงเดินทางผ่านมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้การหาเอกลักษณ์ของระบบจำเป็นต้องมีความสามารถในการปรับตัวเองตามได้อย่างอัตโนมัติ โดยทำงานแบบเวลาจริง (Real Time) รูปแบบของการหาเอกลักษณ์ของระบบที่เหมาะสมในงานด้านนี้คือ Adaptive Digital Filter (ADF) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังของ Adaptive digital filter

ADF ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วน Digital Filter ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม โดยทำการประมาณเส้นทางเดินของเสียง $P(Z)$ และส่วน Adaptive Algorithm ทำหน้าที่ปรับค่าพารามิเตอร์ของ Digital Filter เพื่อสัญญาณเสียง $e(n)$ (ผลต่างระหว่าง $d(n)$ กับ $y(n)$) ณ ตำแหน่งที่สนใจมีขนาดน้อยที่สุด โดยที่ สัญญาณ $d(n)$ คือ สัญญาณเสียงรบกวน ณ ตำแหน่งที่สนใจ และ $y(n)$ คือ ค่าสัญญาณเอาต์พุตของ Digital Filter ที่ทำหน้าที่หักลบเสียงรบกวน ส่วน $x(n)$ คือ สัญญาณเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียง

โดยทั่วไปรูปแบบฟังก์ชันของการหาเอกลักษณ์ของระบบเส้นทาง การเดินของเสียงสามารถประมาณได้เป็นฟังก์ชันแบบ Finite Impulse Response (FIR) หรือฟังก์ชันแบบ Infinite Impulse Response (IIR) แต่ FIR ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 7 เป็นฟังก์ชันที่มีเฉพาะซีโร่ (Zero) ดังนั้นจึงเป็นระบบจะมีความเสถียรตลอดเวลา ส่วน IIR เป็นฟังก์ชันที่มีทั้งโพล (Pole) และซีโร่ (Zero) จึงมีโอกาสที่ระบบจะไม่เสถียรได้ แต่ IIR มีข้อดีคือ ค่าอันดับของฟังก์ชันจะต่ำกว่าของ FIR ทำให้ใช้หน่วยความจำและการประมวลผลน้อย แต่กระนั้น เพื่อตัดปัญหาเรื่องความไม่เสถียรของระบบ ในงาน ANC โดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันการหาเอกลักษณ์ของระบบเป็นแบบ FIR เช่นเดียวกับในบทความนี้



รูปที่ 7 โครงสร้างของการหาเอกลักษณ์แบบ FIR Filter

จากรูปที่ 7 สมการคณิตศาสตร์ของฟังก์ชัน FIR สามารถเขียนได้ดังนี้

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} w_i(n)x(n-i) \quad (1)$$

โดยที่ n คือดัชนีเวลา L คือค่าลำดับ (Order) $w_i(n)$ คือพารามิเตอร์ตัวที่ i ของฟังก์ชัน FIR ส่วน $x(n)$ และ $y(n)$ คือ สัญญาณที่ทางเข้าและสัญญาณที่ทางออกของฟังก์ชันตามลำดับและสมการ (1)สามารถเขียนในรูปของสมการเวกเตอร์ได้เป็น

$$y(n) = w^T(n)x(n) \quad (2)$$

โดยที่

$$w(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{L-1}(n)]^T \quad (3)$$

$$x(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-L+1)]^T \quad n \geq L \quad (4)$$

ค่าของ $w(n)$ สามารถหาได้โดยใช้กฎการปรับตัวเองแบบ Least Mean Squares (LMS) ซึ่งเป็น Steepest-Descent Method [1] จากรูปที่ 1 ในการหาเอกลักษณ์เราต้องการ $e(n) = d(n) - y(n) = 0$ หรือมีขนาดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ สามารถกระทำได้โดยการแก้ปัญหา Minimization โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ

$$\xi(n) = E[e^2(n)] \quad (5)$$

โดยที่ $E[\cdot]$ เป็นค่าคาดหวัง (Expected Value)

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ $\xi(n)$ สามารถหาได้แต่ต้องใช้เวลาคำนวณนานจึงจำเป็นต้องมีการประมาณ เนื่องจากในที่นี้เป็นการทำงานแบบปรับค่าอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นค่าประมาณของ $\xi(n) = E[e^2(n)]$ ที่เวลา n ที่เหมาะสม คือ $e^2(n)$ นั่นคือจะได้

$$\xi(n) \approx \hat{\xi}(n) = e^2(n) \quad (6)$$

ในเทอมของเกรเดียนต์ของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Squared Error)

$$\nabla \hat{\xi}(n) = 2[\nabla e(n)]e(n) \quad (7)$$

จาก $e(n) = d(n) - y(n)$ โดยที่ $y(n)$ คำนวณจากสมการ (2) ทำให้ได้

$$e(n) = d(n) - w^T(n)x(n) \quad (8)$$

โดยที่

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial w_0}, \frac{\partial}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial w_{L-1}} \right] \quad (9)$$

จะได้

$$\nabla e(n) = -x(n) \quad (10)$$

แทนสมการ (10) ลงในสมการ (7) ได้ประมาณเกรเดียนต์

$$\nabla \hat{\xi}(n) = -2x(n)e(n) \quad (11)$$

และใช้หลักการของ Steepest Descent

$$w(n+1) = w(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \hat{\xi}(n) \quad (12)$$

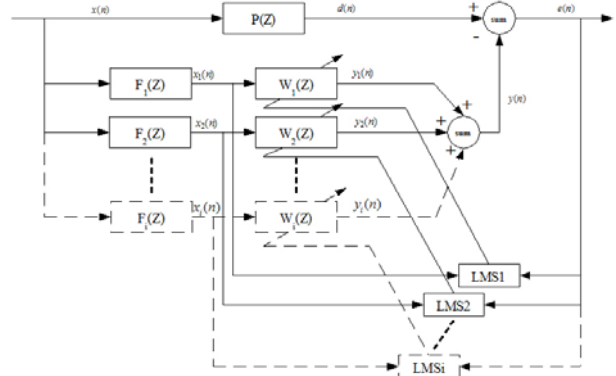
โดยที่ μ คือ อัตราการปรับตัว (Step Size หรือ Training Rate) และ $\nabla \hat{\xi}(n)$ คือค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ส่วนเลข 2 ที่หารในสมการเป็นเพียงใส่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ผลลัพธ์สุดท้ายอยู่ในรูปแบบที่

ต้องการเท่านั้น แทนสมการ (11) ลงในสมการ (12) จะได้กฎการปรับค่าแบบ LMS

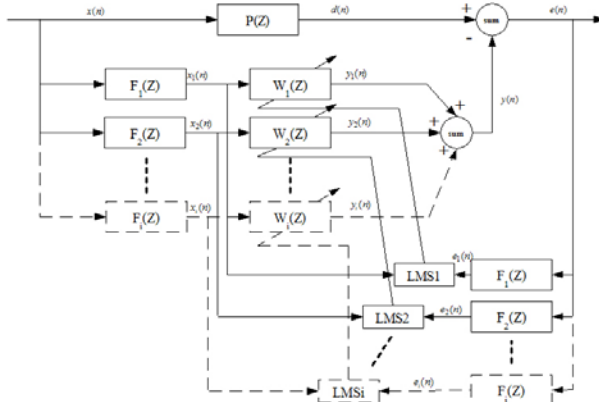
$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n)e(n) \quad (13)$$

4. หลักการของการควบคุมแบบแยกความถี่

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการควบคุมสองรูปแบบด้วยกัน รูปแบบที่หนึ่ง แยกการควบคุมแต่ละความถี่เฉพาะด้านอินพุตด้านเดียว แสดงในรูปที่ 8 และรูปแบบที่สองแยกการควบคุมทั้งสองด้านทั้งด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 แสดงแผนผังการทำงานของระบบการควบคุมแบบที่ 1



รูปที่ 9 แสดงแผนผังการทำงานของระบบการควบคุมแบบที่ 2

ทั้งสองรูปแบบมีการทำงานเหมือนกันโดยให้สัญญาณรบกวน $x(n)$ ผ่านตัวกรองความถี่ $F_i(z)$ ทำหน้าที่เป็นตัวกรองย่านที่ i ผลลัพธ์ออกมาเป็น $x_i(n)$ จากนั้นจะส่งต่อไปยัง $W_i(z)$ เป็นตัวกรองที่ปรับค่าโดย LMS ตัวที่ i ทำหน้าที่ควบคุมเสียงรบกวนความถี่ที่ i สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาเป็น $y_i(n)$ สุดท้ายทำการรวม $y_i(n)$ ทุกย่านความถี่เข้าด้วยกันเป็น $y(n)$ นั่นคือ

$$y(n) = y_1(n) + y_2(n) + \dots + y_i(n) \quad (14)$$

เพื่อไปหักลบเสียงรบกวน $d(n)$ ณ ตำแหน่งที่สนใจ มีข้อสังเกตว่าการควบคุมแบบแรกแตกต่างจากแบบที่ 2 ที่แบบแรกไม่มีตัวกรองความถี่ทางด้านเอาต์พุต ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ของ $W_i(z)$ ด้วยวิธี LMS จะนำสัญญาณ $e(n)$ มาใช้โดยตรง

5. กฎการปรับตัวของการควบคุมแบบแยกความถี่

ในลักษณะเดียวกับในหัวข้อ 2.1 ต้องการปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ $e(n) = d(n) - y(n) = 0$ หรือมีขนาดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จากสมการที่ (14) จะได้

$$e(n) = d(n) - [y_1(n) + y_2(n) + \dots + y_i(n)] \quad (15)$$

โดยในกรณีนี้ค่าของ $y_i(n)$ ในแต่ละย่านความถี่คือ

$$y_i(n) = w_i^T(n) x_i(n) \quad (16)$$

นำสมการที่ (16) แทนในสมการที่ (15) ได้เป็น

$$e(n) = d(n) - [w_1^T(n) x_1(n) + w_2^T(n) x_2(n) + \dots + w_i^T(n) x_i(n)] \quad (17)$$

จะได้

$$\nabla e_i(n) = -x_i(n) = -f_i(n) * x(n) \quad (18)$$

เมื่อนำไปแทนในสมการที่ (7) ได้เป็น

$$\nabla \xi_i(n) = -2x_i(n)e(n) \quad (19)$$

เพราะฉะนั้นจะได้กฎการปรับค่าแบบ LMS ของแต่ละย่านความถี่ สำหรับการควบคุมรูปแบบแรกเป็น

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \mu x_i(n)e(n) \quad (20)$$

ทำนองเดียวกันในรูปแบบที่ 2 จะมีการแบ่งการคำนวณออกจากกัน อย่างชัดเจนกว่าแบบแรก ทางด้านสัญญาณเอาต์พุต $e(n)$ จะมีตัวกรองความถี่ $F_i(z)$ จะได้

$$e_i(n) = f_i(n) * e(n) \quad (21)$$

โดยที่ $e(n) = d(n) - [y_1(n) + y_2(n) + \dots + y_i(n)]$ นำไปแทนในสมการที่ (21) ได้เป็น

$$e_i(n) = f_i(n) * [d(n) - [y_1(n) + y_2(n) + \dots + y_i(n)]] \quad (22)$$

แทนสมการ (16) ใน (22) จะได้

$$e_i(n) = f_i(n) * [d(n) - [w_1^T(n) x_1(n) + w_2^T(n) x_2(n) + \dots + w_i^T(n) x_i(n)]] \quad (23)$$

จะได้

$$\nabla e_i(n) = -f_i(n) * x_i(n) \quad (24)$$

โดยที่

$$-f_i(n) * x_i(n) \approx -x_i(n) \quad (25)$$

จะได้

$$\nabla \xi_i(n) = -2x_i(n)e_i(n) \quad (26)$$

เพราะฉะนั้นจะได้กฎการปรับตัวของ LMS รูปแบบที่ 2 เป็น

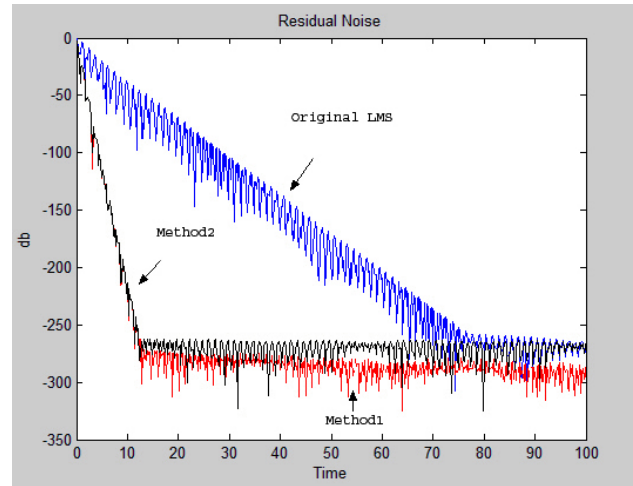
$$w_i(n+1) = w_i(n) + \mu x_i(n)e_i(n) \quad (27)$$

6. ผลลัพธ์การจำลองในคอมพิวเตอร์

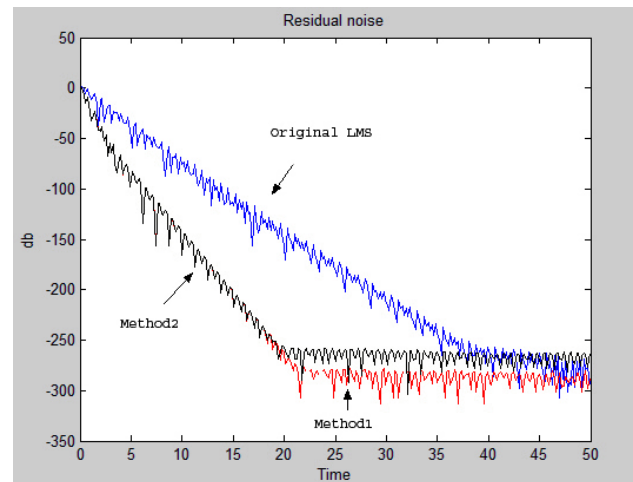
ในการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์นี้จะศึกษาในกรณีที่รู้ย่านความถี่รบกวนที่เราต้องการให้เสียงลดลงโดยกำหนดให้มีเสียงรบกวนความถี่ต่างกัน 3 ความถี่ โดยเปรียบเทียบผลของการทดลอง 3 รูปแบบ คือ LMS ดั้งเดิม รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยในแต่ละการทดลองได้กำหนดให้ค่าลำดับของตัวควบคุม (LMS order) ที่เท่ากัน คือ ในกรณีของแบบแยกความถี่ กำหนดให้ค่าลำดับของตัวควบคุมในแต่ละย่านความถี่เท่ากับ 10 ในขณะที่ในกรณีแบบปกติที่ไม่มีการแยกความถี่กำหนดให้ค่าลำดับเท่ากับ 30 และทุกการทดลองกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (Training rate) เท่ากันที่ 10^{-3} ผลการจำลองในคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบรูปแบบแยกความถี่ทั้งสองกับแบบปกติ ในการทดลองครั้งแรก

แรกนี้กำหนดให้มีเสียงรบกวนความถี่ 200, 300 และ 500 Hz ได้ผลดังรูปที่ 10 สังเกตว่าทั้งรูปแบบแรก และรูปแบบที่ 2 มีการลดลงของเสียงแทบจะไม่ต่างกันและสามารถลดลงเร็วกว่าแบบที่ไม่มีการแยกเสียงรบกวนอย่างเห็นได้ชัด

ส่วนในการทดลองครั้งที่ 2 กำหนดให้เสียงรบกวนมีความถี่ 100,250 และ 450 Hz และกำหนดค่าอันดับของตัวควบคุมและอัตราการเรียนรู้เท่ากันกับการทดลองแรก ได้ผลดังรูปที่ 11 ซึ่งก็เป็นทำนองเดียวกันกับการทดลองครั้งแรก คือรูปแบบแรกและรูปแบบที่สองแทบจะไม่ต่างกัน ในขณะที่แบบ LMS ดั้งเดิมจะใช้เวลานานกว่า



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบของเอาต์พุตของการทดลองครั้งแรก ที่เสียงรบกวนความถี่ 200,300 และ 500



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบของเอาต์พุตของการทดลองครั้งที่ 2 ที่เสียงรบกวนความถี่ 100,250 และ 450

7. สรุปและงานที่จะดำเนินการต่อไป

บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคการแยกความถี่ของสัญญาณรบกวนออกจากกันเพื่อลดเวลาในการลดลงของเสียงของการควบคุมเสียงแอดทีฟแบบป้อนไปข้างหน้า ผลการศึกษาด้วยการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์พบว่า เทคนิคที่นำเสนอสามารถลดระดับเสียงได้เร็วขึ้นถึง 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ไม่มีการแยกความถี่เสียง

งานที่จะดำเนินการต่อไป จะนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบที่มีอยู่ (ดังแสดงในรูปที่ 3) โดยตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี เขียนฝังตัวไว้ในการ์ดประมวลผลสัญญาณซึ่งใช้ Digital Signal Processor (DSP) เบอร์ TMS320C32 เป็นตัวประมวลผลกลาง สัญญาณเอาต์พุตจากการประมวลผลสัญญาณจะส่งผ่านชุดขยายกำลังเพื่อใช้ขับลำโพงในการสร้างสัญญาณควบคุมไปหักลบเสียงรบกวน

เอกสารอ้างอิง

- [1] B.J. Smith.R.J. Peters and S. Owen. Acoustics and Noise Control. 2nd ed.Addison-Wesley Longman.1982.
- [2] L.L. Beranek and I.L. Ver. Noise and Vibration Control Engineering : Principles and Applications. John Wiley and Sons. 1992.
- [3] S.M. Kuoand D.R. Morgan. Active Noise Control Systems Algorithms and DSP Iplementations. John Wiley and Sons. 1996.
- [4] สว่างทิพย์ ศรีกิจสุวรรณ. การควบคุมเสียงรบกวนมิติเดียวแบบแอกทีฟ:การศึกษาเชิงทดลอง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (พฤศจิกายน 2543) :20-21
- [5] พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ. การควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนกลับด้วยกฎ FXLMS Feedback Noise Control using FXLMS rule. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 (2544)
- [6] อนุสรณ์ เพชรสินจร. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมเสียงชนิดแอกทีฟที่ใช้การหาเอกลักษณ์แบบออนไลน์และออฟไลน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2546