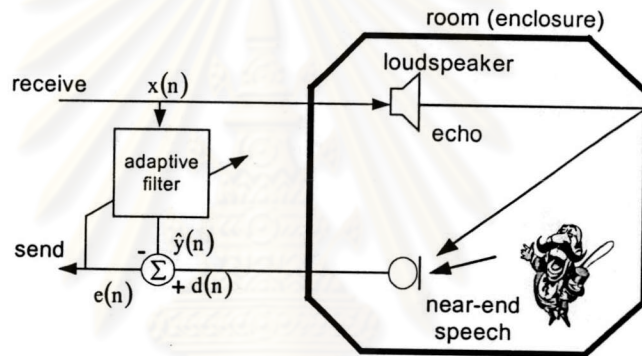


### บทที่ 3

#### สถานการณ์ดับเบิลทอล์กและตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก (Double-Talk, DT) ในการสื่อสารทางเสียง ผลกระทบจากสถานการณ์ DT ต่อระบบ AEC ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก (Double-Talk Detector, DT) คุณสมบัติและเกณฑ์ของตัวตรวจวัด และตัวตรวจวัดที่จะนำเสนอ โดยจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของระบบ AEC ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีสะท้อนทางเสียง (Acoustic Echo Path Change, AEPC) อย่างฉับพลันด้วย

#### 3.1 สถานการณ์ DT

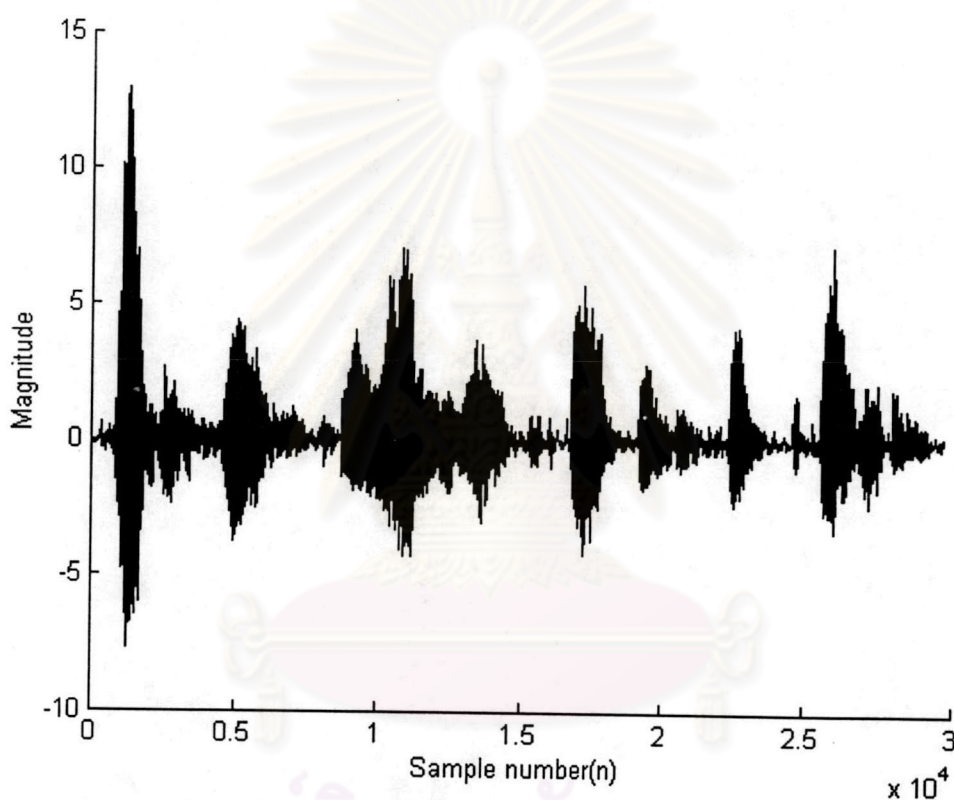


รูปที่ 3.1 แผนภาพสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก

เหตุการณ์ซึ่งเรียกว่า “ดับเบิลทอล์ก” จะเกิดขึ้นเมื่อผู้พูดที่อยู่ในห้องไกลและผู้พูดที่อยู่ในห้องใกล้ในระบบสัมมนาทางไกลพูดพร้อมกัน ขณะที่เกิดสถานการณ์ DT สัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้จะมีผลทำให้ระดับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณเสียงพูดต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, SNR) ในห้องใกล้ลดลงมาก เนื่องจากสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้จะกลายเป็นสัญญาณรบกวนซึ่งมีระดับพลังงานสูง ส่งผลให้วงจรกรองแบบปรับตัวถูกรบกวนจากสภาวะอยู่ตัวและเกิดการลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัวอย่างรวดเร็วทำให้ระบบ AEC ในห้องใกล้มีประสิทธิภาพลดลงในขณะนั้น ดังนั้น DTD จึงเป็นส่วนสำคัญในระบบ AEC ใด ๆ เพื่อให้ระบบ AEC สามารถขจัดสัญญาณเสียงสะท้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดิม

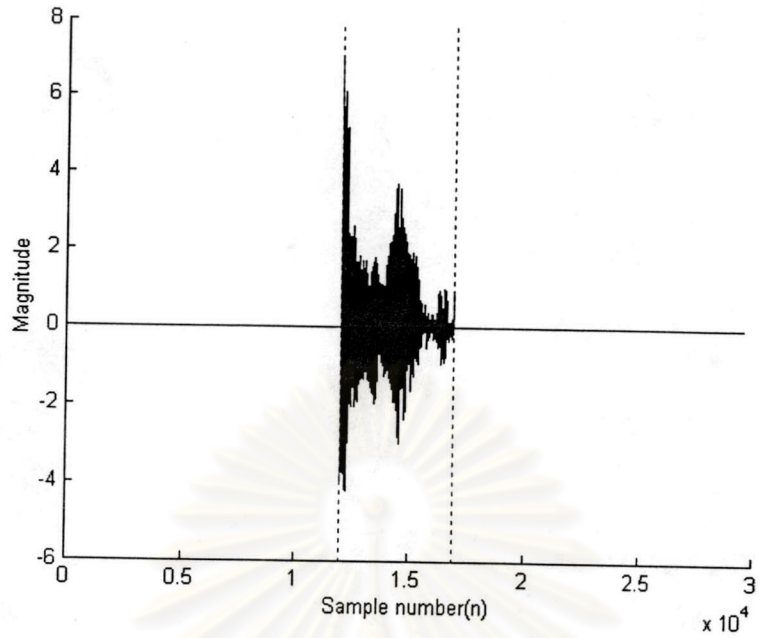
ก่อนที่จะกล่าวถึง DTD นั้นจะพิจารณาสมรรถนะของวงจรกรองแบบปรับตัวเมื่อใช้ระเบียบวิธี NLMS ในสถานการณ์ DT โดยทำการจำลองระบบ AEC บนคอมพิวเตอร์ กำหนดให้สถานการณ์ DT เกิดในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12000-17000 เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด มีจำนวนซีกตัวอย่างเท่ากับ 29696 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และเลือกใช้

วงจรกรองแบบปรับตัวที่มีความยาวเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ของวิธีสะท้อนทางเสียงในห้องใกล้ คือ  $L = 256$  และใช้ค่าช่วงก้าวเป็น  $\mu = 0.7$  นอกจากนี้ กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณ DT และสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องไกล (double-talk to far-end signal ratio, DTFR) เท่ากับ 6 dB ซึ่งหมายความว่า พลังงานของสัญญาณ DT มีขนาดมากกว่าพลังงานของสัญญาณเสียงพูดในห้องไกล และทำการสังเกตผลกระทบของสัญญาณ DT ต่อระบบ AEC เมื่อค่า DTFR เท่ากับ 0 dB และ -6 dB อีกด้วย กล่าวคือ พลังงานของสัญญาณ DT มีขนาดเท่ากับและน้อยกว่าพลังงานของสัญญาณเสียงพูดในห้องไกล ตามลำดับ

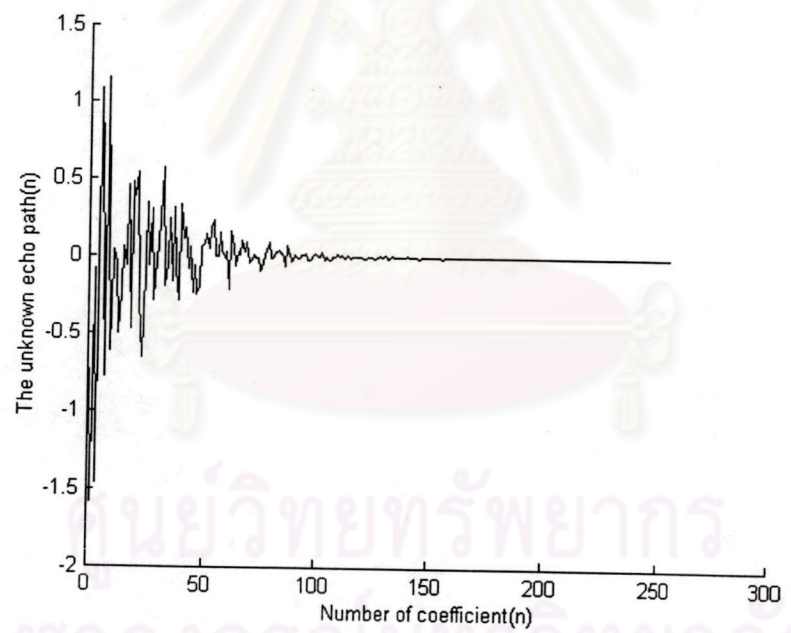


รูปที่ 3.2 สัญญาณเสียงพูด

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 สัญญาณดับเบิ้ลทอลค์



รูปที่ 3.4 ลักษณะวิถีสะท้อนทางเสียงในห้องใกล้

จากรูปที่ 3.4 วิถีสะท้อนทางเสียงในห้องใกล้  $h(k)$  มีลักษณะเป็น exponential decay มีความยาวเท่ากับ 256 เช่นเดียวกับความยาวของวงจรรองแบบปรับตัวโดยทำการจำลองจากผลคูณระหว่างสัญญาณรบกวนขาว  $b(k)$  กับฟังก์ชัน exponential

$$h(k) = b(k) \cdot e^{-ak} \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, 256 \tag{3.1}$$

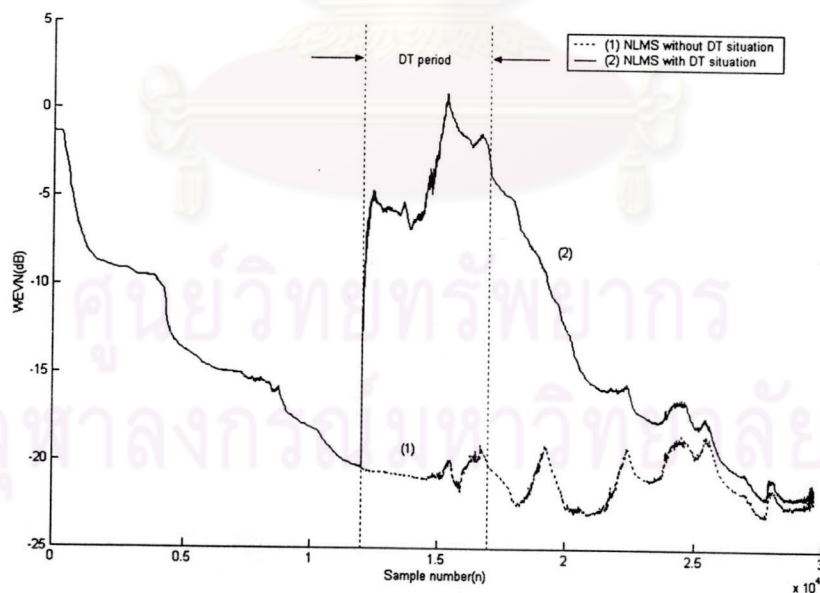
โดยเลือกค่า  $a = -0.025$  สำหรับสถานการณ์ AEPC จะกำหนดให้  $h(k)$  อีกชุดหนึ่งซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.1) เช่นเดียวกันเพียงแต่กำหนดค่า  $a$  ที่แตกต่างกัน

สมรรถนะของวงจรรองแบบปรับตัวเมื่อใช้ระเบียบวิธี NLMS จะถูกพิจารณาจากค่า Weight Error Vector Norm (WEVN) [16] โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างขนาดของผลต่างของ เวกเตอร์วิถีสะท้อนทางเสียงกับเวกเตอร์พารามิเตอร์น้ำหนักของวงจรรองแบบปรับตัวเทียบกับขนาดของเวกเตอร์วิถีสะท้อนทางเสียง ที่ทุกๆ การวนซ้ำ มีหน่วยเป็น dB ดังสมการต่อไปนี้

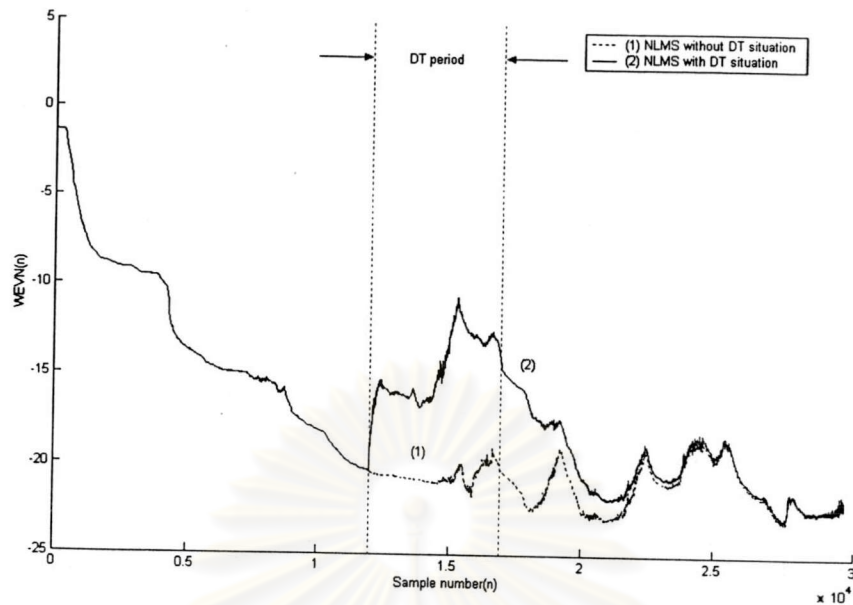
$$\text{WEVN}(n) = 10 * \log_{10} \frac{\|\underline{h} - \underline{w}(n)\|^2}{\|\underline{h}\|^2} \quad (3.2)$$

โดยที่  $\underline{h}$  คือ เวกเตอร์วิถีสะท้อนทางเสียงในห้องใกล้ และ  $\underline{w}(n)$  คือ เวกเตอร์สัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวที่จำนวนซ้ำตัวอย่าง  $n$

เมื่อจำลองสถานการณ์ DT ดังอธิบายข้างต้น โดยมี DTFR = 6 dB และ 0 dB และพิจารณาค่า WEVN ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ตามลำดับพบว่า ผลกระทบของการเกิดสถานการณ์ DT ต่อระบบ AEC จะทำให้วงจรรองแบบปรับตัวเกิดการลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัวเนื่องจากถูกรบกวนการทำงาน หลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้ววงจรรองแบบปรับตัวจะปรับตัวเพื่อลู่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัวอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.5 สมรรถนะของระเบียบวิธี NLMS เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12000-17000 เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด มีจำนวนซ้ำตัวอย่างเท่ากับ 29696 ค่า และ DTFR = 6 dB เมื่อใช้  $\mu = 0.7$  ทั้งสองกรณี



รูปที่ 3.6 สมรรถนะของระเบียบวิธี NLMS เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำ รอบที่ 12000-17000 เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด มีจำนวนซั๊กตัวอย่าง เท่ากับ 29696 ค่า และ DTFR = 0 dB เมื่อใช้  $\mu = 0.7$  ทั้งสองกรณี

จึงเห็นได้ว่า DTD มีความสำคัญต่อระบบ AEC ในการตรวจวัดการเกิดสถานการณ์ DT เพื่อป้องกันการลู่ออกจากสถานะอยู่ตัวของระบบ วิธีหนึ่งในการป้องกันการลู่ออกจากสถานะอยู่ตัวของวงจรรองแบบปรับตัวนั้นสามารถทำได้โดยการยับยั้ง (freeze) การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT นอกจากนี้ ยังมีปัญหาของ AEPC ซึ่งอาจเกิดจากการเคลื่อนไหวของผู้พูดในห้องใกล้ ประตูหรือหน้าต่างถูกเปิด เป็นต้น ก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรรองแบบปรับตัวเช่นเดียวกับกรณีของสถานการณ์ DT กล่าวคือ ระบบจะลู่ออกจากสถานะอยู่ตัว โดยสังเกตได้จากระดับสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  ของระบบ ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระดับสัญญาณความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT และ AEPC ออกจากกันได้ จึงมีงานวิจัย [4],[9],[13] เกี่ยวกับการออกแบบ DTD ที่สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และต้องคำนึงถึงปัญหาการประวิงเวลา (delay) ที่ไม่ยาวนานเกินไปในการตัดสินใจของ DTD เพื่อป้องกันไม่ให้ DTD ตัดสินผิดพลาด (false detection) มากเกินไป ตัวอย่างเช่น เมื่อ DTD ตัดสินผิดพลาดว่าเกิด AEPC แทนการเกิดสถานการณ์ DT จะทำให้ระบบ AEC ลู่ออกจากสถานะอยู่ตัวอย่างรวดเร็วและหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้วระบบกลับลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมค่าใหม่แทนที่จะลู่เข้าสู่ค่าตอบเดิมต่อไป นอกจากนี้สัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวควรได้รับการปรับตัวตลอดเวลาแม้กระทั่งในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ AEP ในห้องใกล้ที่อาจมีการเปลี่ยน

แปลงอย่างช้า ๆ ในช่วงสถานการณ์ DT นี้ เช่น การเคลื่อนที่ของผู้พูด [13] แทนการยับยั้งการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวดังเช่น DTD อื่น ๆ [2]

### 3.2 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิ้ลทอล์ก (Double-Talk Detector) แบบต่าง ๆ

คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับ DTD คือ การสามารถตรวจวัดสถานการณ์ DT ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC โดยสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ AEP ได้อย่างรวดเร็วในสถานการณ์ AEPC และติดตามการเปลี่ยนแปลงของ AEP อย่างช้า ๆ ในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ได้ นอกจากนี้ ควรจะมีการประวิงเวลาในการตัดสินใจไม่นานเกินไปเพื่อลดปัญหาการตัดสินใจผิดพลาด และจากการศึกษาเกณฑ์ที่ใช้กับ DTD ในระบบ AEC สามารถสรุปได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. DTD ที่อาศัยการเปรียบเทียบระดับพลังงานของสัญญาณ [10] จะทำการตรวจวัดการเกิดสถานการณ์ DT โดยเปรียบเทียบระดับพลังงานระหว่างสัญญาณไมโครโฟนและสัญญาณความผิดพลาดตามเงื่อนไขดังนี้

$$ERLE_{DTD}(n) \leq ERLE_{opt} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $ERLE_{DTD}(n)$  นิยามโดย

$$ERLE_{DTD}(n) = 10 * \log_{10} \frac{E\{d^2(n)\}}{E\{e^2(n)\}} \quad (3.4)$$

และ  $ERLE_{opt}$  คือ การลดทอนสัญญาณเสียงสะท้อนเมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว DTD ประเภทนี้ สามารถตรวจวัดสถานการณ์ DT ได้อย่างรวดเร็ว และเมื่อเกิดสถานการณ์ DT จะสั่งการให้ระบบหยุดการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัว อย่างไรก็ตาม ปัญหาของ DTD ประเภทนี้คือ ไม่สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้

2. DTD ที่อาศัยการประมาณวิถีสะท้อนทางเสียง [4] จะแยกแยะช่วงที่เกิดสถานการณ์ ST จากช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT หรือ AEPC โดยอาศัยระดับพลังงานของการประมาณ AEP และทำการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC โดยอาศัยเกรเดียนท์ของระดับพลังงานใน AEP ที่ถูกประมาณ DTD ประเภทนี้สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้ และมีประวิงเวลาในการตัดสินใจน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ DTD ประเภทแรก

3. DTD ที่อาศัยสหสัมพันธ์ข้าม [1]-[3],[5],[9],[15] จะทำการตรวจวัดสถานการณ์ DT โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณสองสัญญาณกับจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ที่กำหนดไว้และทำการตัดสินใจตามเงื่อนไขที่กำหนด ได้แก่ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างเวก

เตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  และสัญญาณออกของระบบ  $\hat{y}(n)$  ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  และสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ DTD ประเภทนี้สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้และมีประวิงเวลาน้อย แต่ปัญหาของ DTD ประเภทนี้ คือ จุดเริ่มเปลี่ยนที่คงที่ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะที่เหมาะสมในกรณีทั่วไป

4. DTD ที่อาศัยระเบียบวิธีของ Geigel [3],[7],[15] จะอาศัยการเปรียบเทียบระดับรูปคลื่นระหว่างสัญญาณไมโครโฟนในห้องใกล้  $d(n)$  และสัญญาณเสียงจากผู้พูดห้องไกล  $x(n)$  และนำไปเปรียบเทียบกับจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ปัญหาของ DTD ประเภทนี้ คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับกรณีของระบบ AEC นั้นไม่แน่นอนที่จะกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนโดยทั่วไปเพื่อที่จะให้ระบบทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือในสถานการณ์ต่าง ๆ เพราะ AEP สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง

5. DTD ที่อาศัยความคล้ายคลึงกันระหว่างสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องไกล  $x(n)$  และสัญญาณไมโครโฟน  $y(n)$  [8],[15] จะทำงานในโดเมนความถี่โดยอาศัยฟังก์ชันโคฮีเรนซ์  $\gamma_{yx}(f)$  ในการวัดความคล้ายคลึงของสัญญาณ

$$\gamma_{yx}(f) = \frac{|S_{yx}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} \quad (3.5)$$

ค่าฟังก์ชันโคฮีเรนซ์จะเข้าใกล้ 1 เมื่อไม่เกิดสถานการณ์ DT ในทางกลับกันค่านี้จะเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ปัญหาของ DTD แบบนี้คือการประวิงเวลาในการประมวลผลข้อมูลที่เป็นบล็อก (block processing) ส่งผลให้มีการประวิงเวลาในการตรวจวัดของ DTD [15]

### 3.3 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิ้ลทอล์กที่จะนำเสนอสำหรับการขจัดสัญญาณสะท้อนทางเสียง

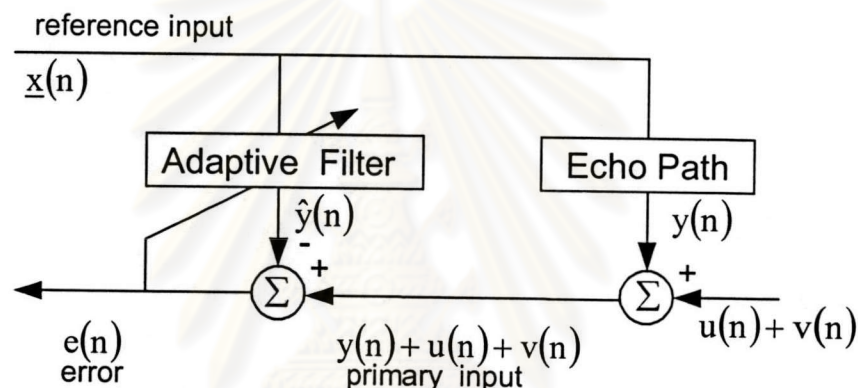
จากการศึกษาเกณฑ์ที่ใช้กับ DTD ในระบบ AEC ที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้เสนอ DTD ที่จะใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. การประมวลผลของ DTD ควรกระทำในโดเมนเวลาแทนโดเมนความถี่เพื่อลดปัญหาการประวิงเวลา
2. มีความสามารถในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

3. เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ระบบควรทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์น้ำหนักของวงจรรองแบบปรับตัวต่อไปอย่างช้า ๆ เพื่อปรับติดตาม AEPC ในห้องใกล้เคียงที่จะทำการยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์น้ำหนักของวงจรรองแบบปรับตัว

ดังนั้น จึงเลือกที่จะศึกษา DTD ประเภทที่อาศัยสหสัมพันธ์ข้ามเพราะ DTD ประเภทนี้สามารถตรวจวัดการเกิดสถานการณ์ DT ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และสามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้และมีประวิงเวลาน้อย โดยเลือกศึกษารายละเอียดของ DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก (Orthogonality theorem) [2] และระเบียบวิธี PC-VSS [9] เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง DTD สำหรับการนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

### 3.3.1. ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิ้ลทอล์กที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก



รูปที่ 3.7 โครงสร้างพื้นฐานการขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน

จากรูปที่ 3.7 เมื่อ  $u(n)$  คือ สัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้เคียง และ  $v(n)$  คือ สัญญาณเสียงรบกวนเบื้องหลังสมมติให้ที่เวลา  $n$  สัมประสิทธิ์น้ำหนักของวงจรรองแบบปรับตัวเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมภายใต้เกณฑ์ของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความผิดพลาดที่น้อยที่สุดแล้วใช้ทฤษฎีความตั้งฉาก จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ [2]

$$E\{e(n)\underline{x}(n)\} = 0 \quad (3.6)$$

ซึ่งหมายความว่าสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  ตั้งฉากกับเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$

จากสมการที่ (3.5) สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  และเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  ได้ 4 สถานการณ์ดังนี้

1. ในสถานะทรานเซียนท์ (transient period) สัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  กับเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  จะยังไม่ตั้งฉากกัน ดังนั้นทฤษฎีความตั้งฉากในสมการที่ (3.5) จะไม่เป็นจริง



2. เมื่อวงจรรองแบบปรับตัวเข้าสู่ค่าตอบ ระบบจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ดังนั้นทฤษฎีความตั้งฉากในสมการที่ (3.5) จะเป็นจริง คือค่า Expectation ระหว่างสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  และเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  เป็นศูนย์

3. กรณีที่เกิดสถานการณ์ DT จะทำให้ระดับของสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  มีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจากมีสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้  $u(n)$  รวมอยู่ด้วย แต่จากการที่สัญญาณ  $u(n)$  และเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  นั้นไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน ทำให้ทฤษฎีความตั้งฉากตามสมการที่ (3.5) ยังคงเป็นจริงอยู่

$$E\{e(n)\underline{x}(n)\} = E\{(e'(n) + v(n) + u(n))\underline{x}(n)\} = 0 \quad (3.7)$$

เมื่อ

$$e'(n) = y(n) - \hat{y}(n) \quad (3.8)$$

และ  $\hat{y}(n)$  คือสัญญาณเสียงสะท้อนที่ถูกประมาณโดยวงจรรองแบบปรับตัว

4. กรณีที่เกิดสถานการณ์ AEPC แต่ไม่มีสัญญาณ DT สัญญาณเสียงสะท้อนและสัญญาณเสียงสะท้อนที่ถูกประมาณ  $\hat{y}(n)$  ในช่วงก่อนและหลังการเกิด AEPC ไม่สอดคล้องกัน ทำให้ระดับสัญญาณความผิดพลาด  $e'(n)$  มีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจากในกรณีนี้สัญญาณ  $e(n)$  และ  $\underline{x}(n)$  จะมีสหสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สัญญาณ  $e(n)$  มีสัญญาณเสียงสะท้อนหลงเหลืออยู่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  ดังนั้น ในกรณีนี้ทฤษฎีความตั้งฉากตามสมการที่ (3.5) จะไม่เป็นจริง

ใน [2] ได้เสนอการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC โดยใช้ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ข้าม Average Cross-Correlation ACC(n) ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยทางเวลาของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณเข้า  $x(n-i)$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, M-1$ , และสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  โดยที่  $M$  คือ จำนวนสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัว สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้ามของ ACC(n) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณเข้าและสัญญาณความผิดพลาดกับผลคูณระหว่างกำลังของสัญญาณเข้าและกำลังของสัญญาณความผิดพลาด ดังสมการที่ (3.8)

$$ACC(n) = \frac{\left[ \sum_{i=0}^{M-1} |C_i(n)| \right]}{N} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $C_i(n)$  คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณเข้า  $x(n-i)$  และสัญญาณความผิดพลาด  $e(n)$  สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้าม  $C_i(n)$  เมื่อ  $i = 0, 1, \dots, M-1$  สามารถทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์โดยใช้ระเบียบวิธีการวนซ้ำแบบ exponential weighting

$$P_e^2(n) = \lambda P_e^2(n-1) + (1-\lambda)e^2(n) \quad (3.10)$$

$$P_i^2(n) = \lambda P_i^2(n-1) + (1-\lambda)x^2(n-i) \quad (3.11)$$

$$P_{e,i}(n) = \lambda P_{e,i}(n-1) + (1-\lambda)e(n)x(n-i) \quad (3.12)$$

$$\text{ดังนั้น } C_i(n) = \frac{P_{e,i}(n)}{P_e(n) * P_i(n)} \quad i = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3.13)$$

โดยที่  $\lambda$  คือ exponential factor จากนั้นนำค่า  $ACC(n)$  ไปเปรียบเทียบกับจุดเริ่มเปลี่ยนที่เลือกอย่างเหมาะสม กล่าวคือควรเลือกจุดเริ่มเปลี่ยนให้มีค่ามากกว่าค่า  $ACC(n)$  ในช่วงสภาวะอยู่ตัวเล็กน้อย จะสังเกตว่า ข้อเสียของ DTD วิธีนี้คือ จะต้องทำการคำนวณหาจุดเริ่มเปลี่ยนจากผลของการจำลองระบบมาก่อนครั้งหนึ่งแล้ว

เงื่อนไขในการทำงานของ DTD วิธีนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อกำหนดให้  $R_{th}$  คือจุดเริ่มเปลี่ยน

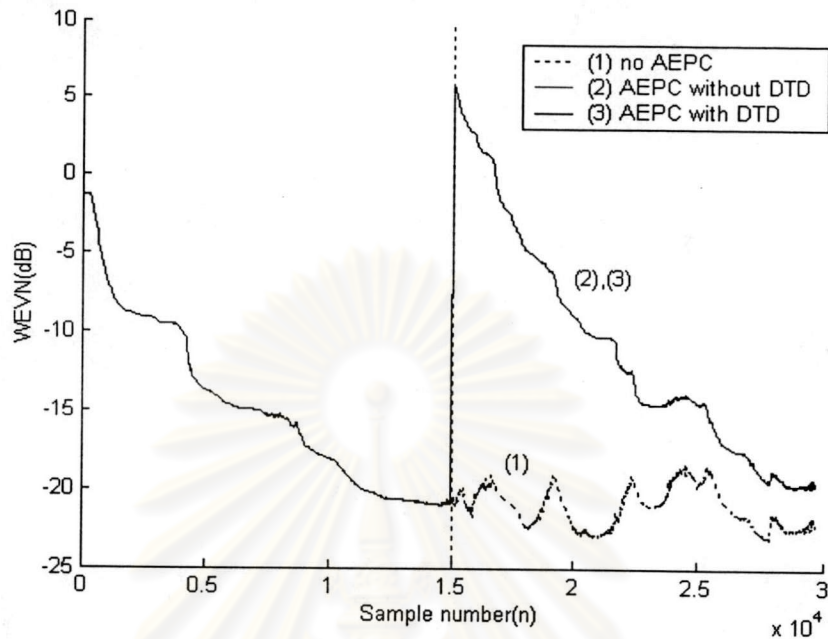
1. ถ้า  $ACC(n) \leq R_{th}$  DTD จะตัดสินใจการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวอยู่ในสภาวะลู่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัวหรือสภาวะสถานการณ์ DT ไม่ใช่กรณี AEPC และระบบจะทำการหยุดการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัว เพื่อป้องกันระบบลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัวที่เป็นผลมาจากการเกิดสถานการณ์ DT [2]

2. ถ้า  $ACC(n) > R_{th}$  DTD จะตัดสินใจการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวไม่อยู่ในสภาวะลู่เข้า เช่น เกิด AEPC และระบบจะดำเนินการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวต่อไปตามปกติ

ข้อสังเกตคือ การเลือกจุดเริ่มเปลี่ยน  $R_{th}$  ควรจะทำอย่างระมัดระวัง ถ้าเลือก  $R_{th}$  มีค่าสูงเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการติดตาม AEPC ลดลง แต่ถ้าเลือกค่า  $R_{th}$  น้อยเกินไป จะทำให้การเบี่ยงเบนของคำตอบในช่วงที่เกิด DT มีค่าสูงขึ้น โดยสังเกตได้จากการลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัวเมื่อเกิดสถานการณ์ DT ในกรณีที่ไม่มี DTD ในบทความ [2] ได้เสนอแนะให้เลือกใช้ค่า  $R_{th}$  ที่มีค่ามากกว่าค่า  $ACC(n)$  ในช่วงสภาวะอยู่ตัวเล็กน้อย

ดังนั้นจึงทำการจำลองระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ DTD ใน [2] เมื่อเกิดสถานการณ์ DT และ AEPC ในกรณีที่สัญญาณเข้าของระบบ AEC เป็นสัญญาณเสียงพูดมี

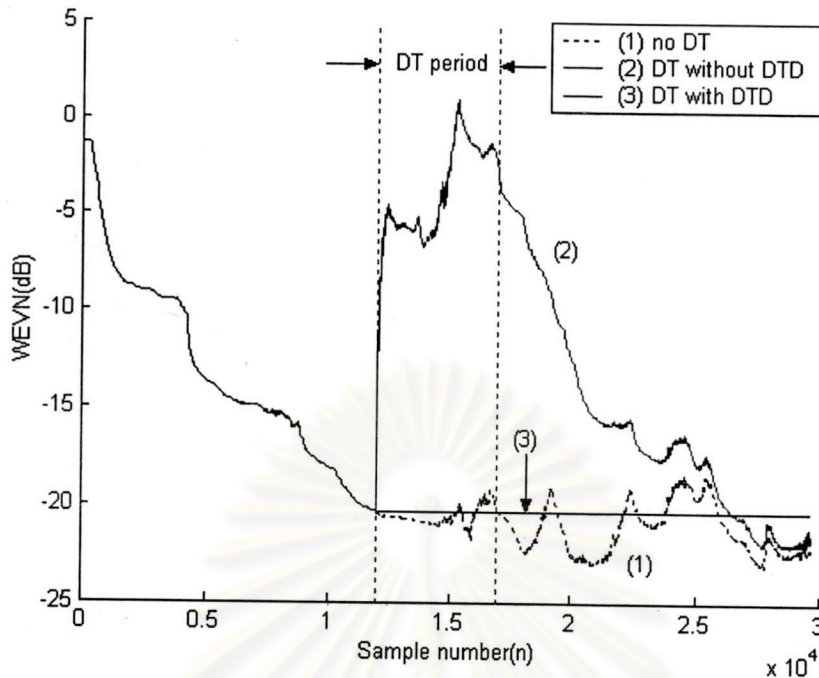
จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 29696 ค่า โดยใช้วงจรกรองแบบปรับตัวที่มีความยาวเท่ากับจำนวน  
สัมประสิทธิ์ของ AEP ในห้องใกล้คือ  $L=256$  กำหนดให้  $DTFR = 6$  dB



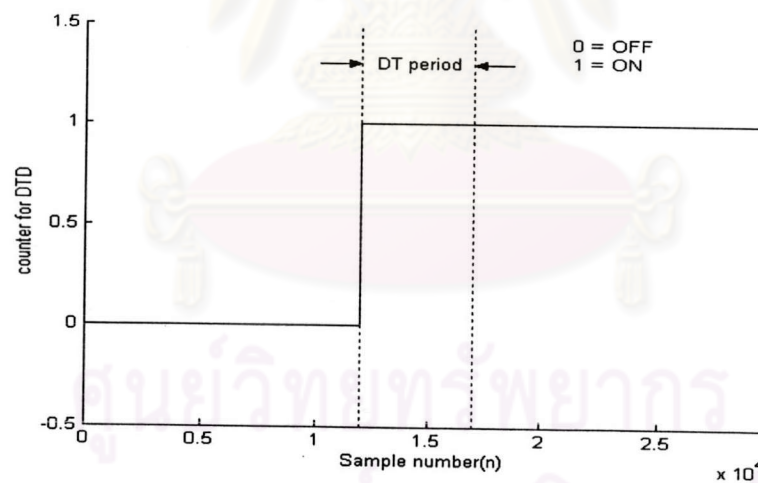
รูปที่ 3.8 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด  
และเกิด AEPC ณ จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 15,000

พิจารณารูปที่ 3.8 จะพบว่า เส้นที่ (1) คือกรณีที่ไม่มี AEPC เส้นที่ (2) คือกรณีที่เกิด AEPC โดยไม่มี DTD ส่วนเส้นที่ (3) คือกรณีที่เกิด AEPC โดยมี DTD พบว่าเมื่อเลือกจุดเริ่มเปลี่ยน  $R_n$  ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขการทำงานของ DTD จะทำให้การติดตาม AEPC เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งในการจำลองระบบนี้ DTD ไม่ตัดสินผิดพลาดว่าเกิดสถานการณ์ DT แต่อย่างไร ณ จุดที่เกิด AEPC

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



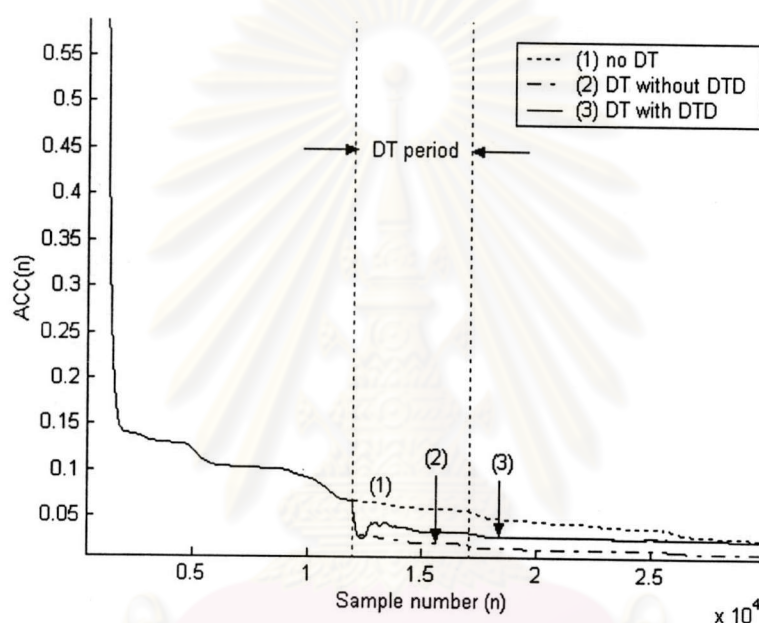
รูปที่ 3.9 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000



รูปที่ 3.10 ตัวนับ (counter) ของ DTD ที่ใช้ทฤษฎีความถี่จาก เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูดและเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000

สำหรับกรณีที่เกิด DT ในช่วงการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่า เส้นที่ (1) คือกรณีที่ไม่มีสถานการณ์ DT เส้นที่ (2) คือกรณีที่เกิดสถานการณ์ DT ที่จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 เมื่อกำหนดให้ DTFR = 6 dB โดยไม่มี DTD พบว่าการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรถ่วงแบบปรับตัวลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัว และหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ระบบก็จะปรับตัวเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวอีกครั้ง ส่วนเส้นที่ (3) เป็นการนำ DTD ซึ่งอาศัย

ทฤษฎีความต้งฉาก [2] มาใช้ในระบบ AEC พบว่าช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT นั้นระบบจะหยุดการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัว เมื่อพิจารณาตัวนับของ DTD ในรูปที่ 3.10 พบว่า DTD สามารถตรวจวัดว่าเกิดสถานการณ์ DT ได้อย่างแม่นยำในช่วงการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 กล่าวคือ ถ้า DTD ตัดสินว่าเกิดสถานการณ์ DT แล้วตัวนับจะเป็น '1' แต่ถ้าตัดสินว่าไม่เกิดสถานการณ์ DT ตัวนับ '1' จะเป็น '0' อย่างไรก็ตาม หลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้ว ตัวนับ DTD ยังคงทำงานอยู่ ส่งผลให้วงจรรองแบบปรับตัวถูกยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ไปอีกช่วงหนึ่ง ทำให้ระบบไม่ลู่เข้าสู่คำตอบ ส่งผลให้ WEVN ไม่ลดลงอีกต่อไป



รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ข้าม  $ACC(n)$  เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำที่รอบที่ 12,000-17,000

เมื่อพิจารณาค่า  $ACC(n)$  ในรูปที่ 3.11 พบว่าหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้วฟังก์ชันสหสัมพันธ์ข้าม  $ACC(n)$  ยังคงมีค่าน้อยกว่าระดับจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ไปเรื่อย ๆ ส่งผลให้วงจรรองแบบปรับตัวถูกยับยั้งการทำงานต่อไปตามปกติ

### 3.3.2 ระเบียบวิธี PC-VSS [9]

ในกรณีค่าช่วงก้าวแบบคงที่  $\mu$  จะมี tradeoff ระหว่างอัตราการลู่เข้ากับการคลาดเคลื่อนของคำตอบ กล่าวคือ ถ้าเราใช้ค่า  $\mu$  น้อยเกินไปจะทำให้การเบี่ยงเบนของคำตอบน้อยลงแต่อัตราการลู่เข้าจะช้า แต่ถ้าเราใช้ค่า  $\mu$  มากเกินไปจะทำให้การเบี่ยงเบนของคำตอบมากขึ้นแต่อัตราการลู่เข้าจะเร็ว [14] บทความนี้ได้แนะนำแนวคิดของ Mathews and Xie เกี่ยวกับค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (variable step-size)  $\mu(n)$  เพื่อแก้ปัญหา tradeoff ดังกล่าว โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณเกรเดียนท์ที่ต่อเนื่องกันในการคำนวณแต่ DTD วิธีนี้ไม่สามารถแยกแยะการเกิดสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC ได้

$$\begin{aligned}\mu(n) &= \mu(n-1) + \rho e(n) \mathbf{e}(n-1) \mathbf{x}^T(n-1) \mathbf{x}(n) \\ &= \mu(n-1) + \rho \nabla^T(n) \nabla(n-1)\end{aligned}\quad (3.14)$$

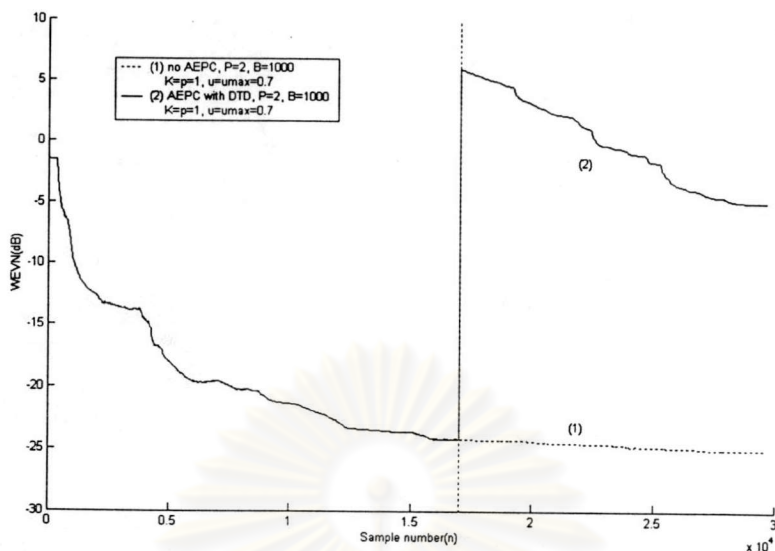
เมื่อ  $\nabla(n) = \mathbf{x}(n) e(n)$  คือค่าเวกเตอร์เกรเดียนท์ขนาด  $L \times 1$

นอกจากนี้ บทความ [9] ได้แนะนำแนวคิดของ Rohrs and Younce มาใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ DT เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ระบบจะทำการยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองแบบปรับตัว โดยพิจารณาเครื่องหมายของความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณเกรเดียนท์ในขณะหนึ่งกับค่าเฉลี่ยของค่าประมาณเกรเดียนท์ที่ผ่านมา [9]

$$s(n) = \text{sign} \left[ \overline{\nabla}^T(n-1) \nabla(n) \right] \quad (3.15)$$

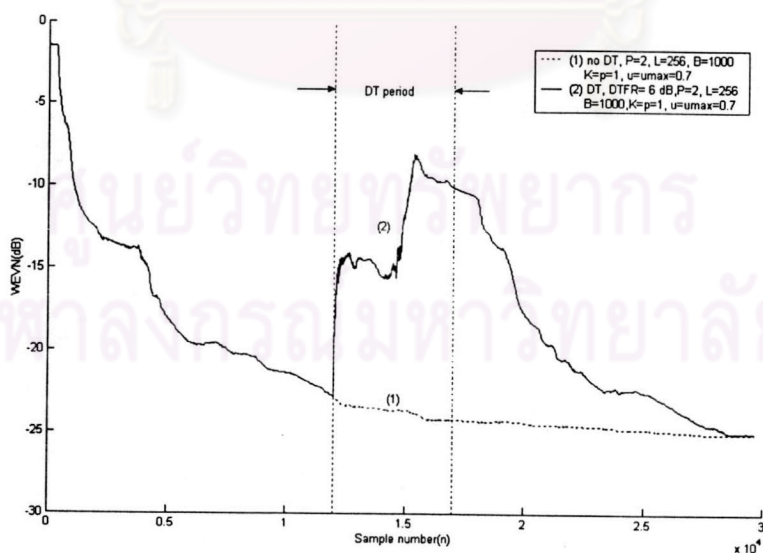
ซึ่งจะทำงานได้ดีในกรณีของ line echo canceller (LEC) แต่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ในระบบ AEC ซึ่งมีจำนวนสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองแบบปรับตัวมากกว่า ส่งผลให้มีอัตราการลู่เข้าช้าและมีผลกระทบต่อกรเกิดสถานการณ์ DT อย่างมาก [9] การปรับปรุงระเบียบวิธีของ Rohrs and Younce ในบทความ [9] จะนำค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงได้  $\mu(n)$  มาใช้กับระเบียบวิธี NLMS แต่พบว่าอัตราการลู่เข้าจะช้าลงเมื่อใช้สัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด ดังนั้นบทความ [9] จึงนำระเบียบวิธี Affine projection มาใช้แทนระเบียบวิธี NLMS เพื่อเพิ่มอัตราการลู่เข้าของระบบจึงเรียกว่าระเบียบวิธี PC-VSS

ในการจำลองระบบบนคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาผลของสถานการณ์ DT และ AEPC โดยใช้ระเบียบวิธี PC-VSS สัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูดมีจำนวนซีกตัวอย่างเท่ากับ 29696 ค่าและใช้วงจรกรองแบบปรับตัวที่มีความยาวเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ของ AEP ในห้องใกล้คือ  $L=256$  กำหนดให้  $\text{DTFR} = 6$  dB และสถานการณ์ AEPC เกิดจากการสร้าง AEP ขึ้นใหม่อีกชุดหนึ่ง



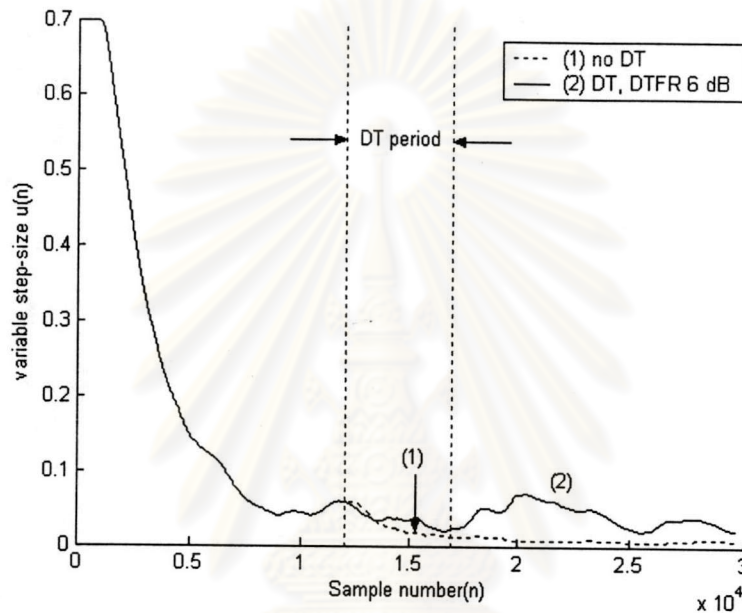
รูปที่ 3.12 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูดและเกิด AEPC ณ จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 17,000

ผลกระทบต่อระบบ AEC ในกรณี AEPC แสดงในรูปที่ 3.12 พบว่า เส้นที่ (1) คือ WEVN ในกรณีที่ไม่มี AEPC เส้นที่ (2) คือ WEVN ในกรณีที่เกิด AEPC โดยมี DTD พบว่าการติดตาม AEPC เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้อัตราการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวอีกครั้งหลังจากเกิด AEPC ค่อนข้างเร็ว



รูปที่ 3.13 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูดและเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12000-17000

ในกรณีของสถานการณ์ DT WEVN สามารถแสดงในรูปที่ 3.13 จะพบว่า เส้นที่ (1) คือกรณีที่ไม่มีสถานการณ์ DT เส้นที่ (2) คือกรณีที่เกิดสถานการณ์ DT ที่จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 พบว่าการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัวประมาณ 15 dB เมื่อกำหนดให้ DTFR = 6 dB และหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ก็จะไปปรับตัวเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวอีกครั้ง และเนื่องจากระเบียบวิธี PC-VSS นี้ไม่มีตัวตรวจวัดสถานการณ์ DT จึงไม่มีรูปแสดงการทำงานของตัวนับเช่นเดียวกับ DTD ที่ใช้ทฤษฎีความตั้งฉาก



รูปที่ 3.14 ค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงได้  $\mu(n)$  เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12000-17000

พิจารณาค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงได้  $\mu(n)$  ในรูปที่ 3.14 โดยกำหนดให้ DTFR = 6 dB สังเกตกราฟเส้นที่ 2 จะพบว่า ช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ค่า  $\mu(n)$  จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทำให้การปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวจะไม่ถูกยับยั้ง และหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ระบบจะปรับค่า  $\mu(n)$  ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อไปเพื่อติดตาม AEP ในห้องใกล้

ข้อแตกต่างระหว่าง DTD ทั้งสองตัวนี้คือ DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก [2] เมื่อทำการตรวจวัดการเกิดสถานการณ์ DT แล้วจะยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์นำหน้าของวงจรรองแบบปรับตัว และหลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้วระบบยังคงทำการยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์นำหน้าของวงจรรองแบบปรับตัวต่อไป เนื่องจาก DTD ตัดสินว่าในช่วงสภาวะอยู่ตัวและช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ให้ยับยั้งการปรับปรุงสัมประสิทธิ์เช่นกันซึ่ง DTD แบบแรกนี้ควรได้



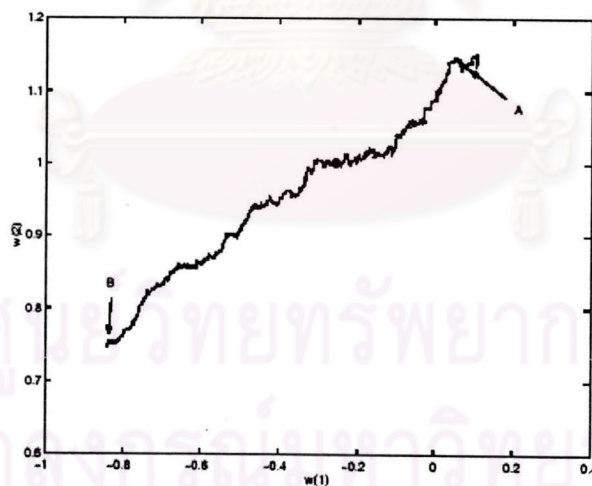
รับการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองตลอดเวลาเพื่อติดตาม AEPC ที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การเคลื่อนที่ของผู้พูดและไมโครโฟน [10]

สำหรับระเบียบวิธี PC-VSS [9] หลังจากหมดช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT แล้วจะทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์น้ำหนักของวงจรรองแบบปรับตัวต่อไป นอกจากนี้ ยังมีการใช้ค่าชวงก้าวที่เปลี่ยนแปลงได้  $\mu(n)$  ทำให้ลดปัญหา tradeoff ระหว่างอัตราการลู่เข้ากับการเบี่ยงเบนของคำตอบได้ และมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่าเนื่องจากใช้อันดับที่สูงกว่าระเบียบวิธี NLMS ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการปรับปรุงการทำงานของ DTD ใน [9] เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อ 3.3

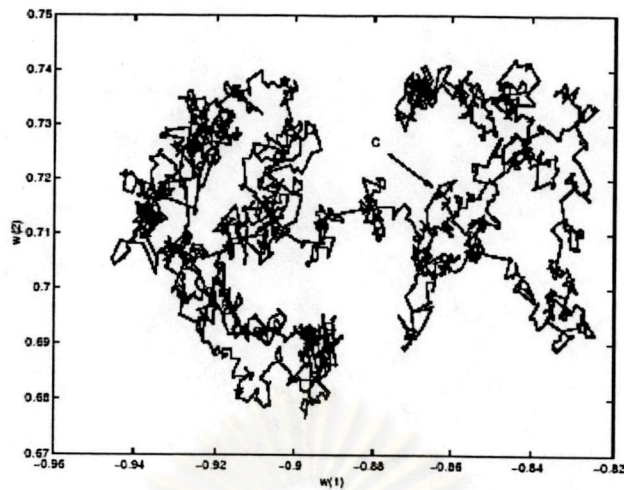
### 3.4 เกณฑ์การทำงานสำหรับตัวตรวจวัดที่นำเสนอ

#### 3.4.1 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ DT ที่นำเสนอ

จากการศึกษารายละเอียดของระเบียบวิธี PC-VSS ในการแยกแยะการเกิดสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC [9] ระเบียบวิธี PC-VSS จะมีความสามารถในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC โดยใช้แนววิถีของการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวที่แตกต่างกัน



(a)



(b)

รูปที่ 3.15 แนววิถีของการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ 2 ตัวแรกของวงจรรองแบบปรับตัว  
ของระบบ AEC เมื่อเกิด (a) สถานการณ์ AEPC (b) สถานการณ์ DT  
ที่เกิดขึ้นเมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว

เมื่อพิจารณาแนววิถีของสัมประสิทธิ์ 2 ตัวแรกของวงจรรองแบบปรับตัวที่มีความยาว  $L$  ในระบบ AEC ในรูปที่ 3.15(a) พบว่า เมื่อเกิดสถานการณ์ AEPC แนววิถีของสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวจะเคลื่อนที่จากจุด A ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ในสถานะอยู่ตัว ไปยังจุด B ซึ่งเป็นคำตอบที่เหมาะสมค่าใหม่ สังเกตได้ว่าแนววิถีของสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวจะเปลี่ยนแปลงไปในแนวทางเดียวกัน สำหรับกรณีที่เกิดสถานการณ์ DT ดังรูปที่ 3.15(b) จะสังเกตได้ว่าแนววิถีของสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวจะค่อนข้างซับซ้อนมากและจะแกว่งรอบ ๆ จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมของ  $\underline{w}_1$  และ  $\underline{w}_2$  ของวงจรรองแบบปรับตัว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัว 2 ตัวแรกในลักษณะนี้สามารถนำมาใช้ในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจากสถานการณ์ AEPC ได้ จึงเลือกใช้เป็นแนวทางในการเสนอเกณฑ์การทำงานของ DTD ในวิทยานิพนธ์นี้ หากแต่จะต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้น อาทิเช่น ในแง่ของการตัดสินใจผิดพลาดที่ลดลงและการประวิงเวลาก่อนการตัดสินใจที่เหมาะสม

พิจารณาเวกเตอร์เกรเดียนท์ของวงจรรองแบบปรับตัวที่ใช้ระเบียบวิธี NLMS ดังสมการที่ (3.15)

$$\underline{\nabla}(n) = e(n)\underline{x}(n) \quad (3.16)$$

เวกเตอร์เกรเดียนท์  $\underline{\nabla}(n)$  จะเข้าใกล้ศูนย์หลังจากวงจรแบบปรับตัวเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว กล่าวคือ ทฤษฎีความต้งจากเป็นจริง แม้ว่ากรณีที่เกิดสถานการณ์ DT ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (3.5) ยังคงเป็นจริงอยู่ เนื่องจากสัญญาณความผิดพลาดในสมการที่ (2.3) จะกลายเป็น  $e(n) = u(n) + v(n)$  โดยสัญญาณเสียงจากผู้พูดในห้องใกล้  $u(n)$  นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณเสียงเข้า  $x(n)$  อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดสถานการณ์ AEPC สมการที่ (3.5) จะไม่เป็นจริง เนื่องจากสัญญาณความผิดพลาดในสมการที่ (2.3) จะกลายเป็น  $e(n) = y(n) + v(n) - \hat{y}(n)$  เมื่อ  $y(n) = \underline{h}^T(n)\underline{x}(n)$  และ  $\hat{y}(n) = \hat{\underline{h}}^T(n)\underline{x}(n)$  สังเกตว่าสัญญาณ  $e(n)$  ซึ่งมีส่วนประกอบของสัญญาณเสียงสะท้อน  $y(n)$  อยู่จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณเสียงเข้า  $x(n)$

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการทำงานของ DTD ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อให้สามารถแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจากสถานการณ์ AEPC ได้ โดยจะใช้ตัวตรวจวัด 2 ตัวคือ

(1) ตัวตรวจวัดตัวแรกจะอาศัยสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์เกรเดียนท์ ในขณะที่เวลา  $n$  และ  $n-1$  ดังสมการที่ (3.16) เป็นตัวบอกแนววิถี (directivity) ของเวกเตอร์เกรเดียนท์ เพื่อที่จะใช้ในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจาก AEPC

$$g_1(n) = \overline{\underline{\nabla}}(n) \cdot \overline{\underline{\nabla}}(n-1) \quad (3.17)$$

เมื่อ  $\overline{\underline{\nabla}}(n)$  มาจากค่าเฉลี่ยของค่าประมาณเกรเดียนท์เวกเตอร์ขณะหนึ่ง พิจารณาสมการที่ (3.15) และ (3.7) เมื่อเกิดสถานการณ์ AEPC ระบบ AEC จะไม่สามารถกำจัดสัญญาณเสียงสะท้อน  $y(n)$  ได้ทำให้ค่า  $g_1(n)$  มีค่าเพิ่มขึ้นหรือในอีกความหมายหนึ่งก็คือ กรณีที่เกิดสถานการณ์ DT สัญญาณ  $u(n)$  และเวกเตอร์สัญญาณเข้า  $\underline{x}(n)$  นั้นไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน สำหรับกรณีสถานการณ์ DT เมื่อพิจารณาสมการที่ (3.16) เวกเตอร์เกรเดียนท์  $\underline{\nabla}(n)$  และ  $\underline{\nabla}(n-1)$  จะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นผลให้ค่า  $g_1(n)$  ไม่มีความเปลี่ยนแปลงมาก

(2) ตัวตรวจวัดตัวที่สองจะอาศัยค่ากำลังสองของค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์เกรเดียนท์ที่เวลา  $n$  ดังสมการที่ (3.17) เป็นตัวบอกพฤติกรรม (activity) ของเวกเตอร์เกรเดียนท์ และจะใช้ตัวตรวจวัดตัวแรก  $g_1(n)$  ร่วมกับตัวตรวจวัดตัวที่สอง  $g_2(n)$  ในการแยกแยะระหว่างสถานการณ์ DT และสภาวะอยู่ตัว

$$g_2(n) = \|\overline{\underline{\nabla}}(n)\|^2 \quad (3.18)$$

เมื่อวงจรแบบปรับตัวอยู่ในสภาวะอยู่ตัว ค่า  $g_2(n)$  จะเข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งหมายความว่า  $g_2(n)$  จะยังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งอยู่ แต่เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ค่า  $g_2(n)$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับสภาวะอยู่ตัว และจากรูปที่ 3.15(b) จะพบว่าพฤติกรรมของ

การปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแบบปรับตัวจะแกว่งอยู่รอบๆจุดที่เหมาะสมจุดหนึ่งคือจุด C ดังนั้น เราจึงสามารถแยกแยะสถานการณ์ DT และสภาวะอยู่ตัวออกจากกันได้

ระเบียบวิธีที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรรองแบบปรับตัวเพื่อจำลองระบบจะใช้ระเบียบวิธี NLMS โดยจะใช้ค่าชวงก้าวแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา  $\mu(n)$  ซึ่งมีหลักการทำงานคือ ในช่วงทรานเซียนท์ของวงจรรองแบบปรับตัวจำเป็นต้องมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วจึงต้องใช้ค่าชวงก้าว  $\mu$  ที่มีค่ามาก สำหรับในสภาวะอยู่ตัวควรจะลดค่าชวงก้าว  $\mu$  ลงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเบี่ยงเบนจากคำตอบของวงจรรองแบบปรับตัวมีค่าสูงเกินไป กล่าวคือ ทำให้ค่าการเบี่ยงเบนของคำตอบมีค่าต่ำ ส่วนในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT ควรจะเลือกใช้ค่าชวงก้าว  $\mu$  ที่มีค่าน้อยๆเพื่อที่จะได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของ AEP ได้และป้องกันการลู่ออกจากสภาวะอยู่ตัว ดังนั้นจะได้สมการปรับให้เป็นปัจจุบันของวงจรรองแบบปรับตัวดังนี้

$$\hat{w}(n+1) = w(n) + \frac{\mu(n)}{\varepsilon + \|\underline{x}(n)\|^2} \underline{x}(n) e(n) \quad (3.19)$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระบบ AEC สามารถแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ โดยแบ่งเป็นสมมติฐานในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง  $g_1(n)$  และ  $g_2(n)$  ได้ 3 แบบดังนี้

$$H_0 : \text{SS, ถ้า } g_1(n) < \theta_1 \text{ และ } g_2(n) < \theta_2 \quad (3.20)$$

$$H_1 : \text{DT, ถ้า } g_1(n) < \theta_1 \text{ และ } g_2(n) > \theta_2 \quad (3.21)$$

$$H_2 : \text{ACEP, อื่นๆ}$$

เมื่อ  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  คือจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับตัวตรวจวัด  $g_1(n)$  และ  $g_2(n)$  ตามลำดับ จากสมการที่ (3.19) ระบบ AEC จะอยู่ในสภาวะอยู่ตัว สมมติฐานจะเป็นจริงเมื่อค่า  $g_1(n)$  และ  $g_2(n)$  มีค่าน้อยกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ส่วนสมการที่ (3.20) ระบบ AEC จะอยู่ในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT สมมติฐานจะเป็นจริงเมื่อค่า  $g_1(n)$  มีค่าน้อยกว่า  $\theta_1$  และค่า  $g_2(n)$  มีค่ามากกว่า  $\theta_2$  และสมการที่ (3.21) ระบบ AEC จะอยู่ในสถานการณ์ AEPC สมมติฐานจะเป็นจริงเมื่อกรณีแรกคือค่า  $g_1(n)$  มีค่ามากกว่า  $\theta_1$  และค่า  $g_2(n)$  มีค่ามากกว่า  $\theta_2$  และกรณีที่สองถ้าค่า  $g_1(n)$  มีค่ามากกว่า  $\theta_1$  และค่า  $g_2(n)$  มีค่าน้อยกว่า  $\theta_2$  ดังนั้นเงื่อนไขสำหรับการใช้ค่า  $\mu(n)$  ของระเบียบวิธี NLMS คือ

$$\mu(n) = \begin{cases} \mu'(n) & \text{ถ้า } H_0 \text{ หรือ } H_1 \text{ ถูกเลือก} \\ \alpha & \text{ถ้า } H_2 \text{ ถูกเลือก} \end{cases} \quad (3.22)$$

โดย  $\alpha = \mu_{\max}$  เป็นค่าช่วงก้าวที่มีค่ามากที่สุดที่ได้กำหนดไว้

ดังนั้นเมื่อเกิดสถานการณ์ AEPD ควรเลือกค่า  $\mu(n)$  ที่ค่าสูงสุดเท่ากับ  $\alpha$  สำหรับในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT และช่วงสภาวะอยู่ตัว ค่า  $\mu(n)$  ควรจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับพลังงานของสัญญาณไมโครโฟนจากห้องใกล้ และควรจะมีค่าน้อยๆ เพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนของคำตอบที่มากเกินไป โดย  $\mu(n)$  จะเปลี่ยนแปลงตามระดับพลังงานของสัญญาณไมโครโฟน [13] สำหรับค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\mu'(n) = \frac{\alpha}{\beta + P_d(n)} \quad (3.23)$$

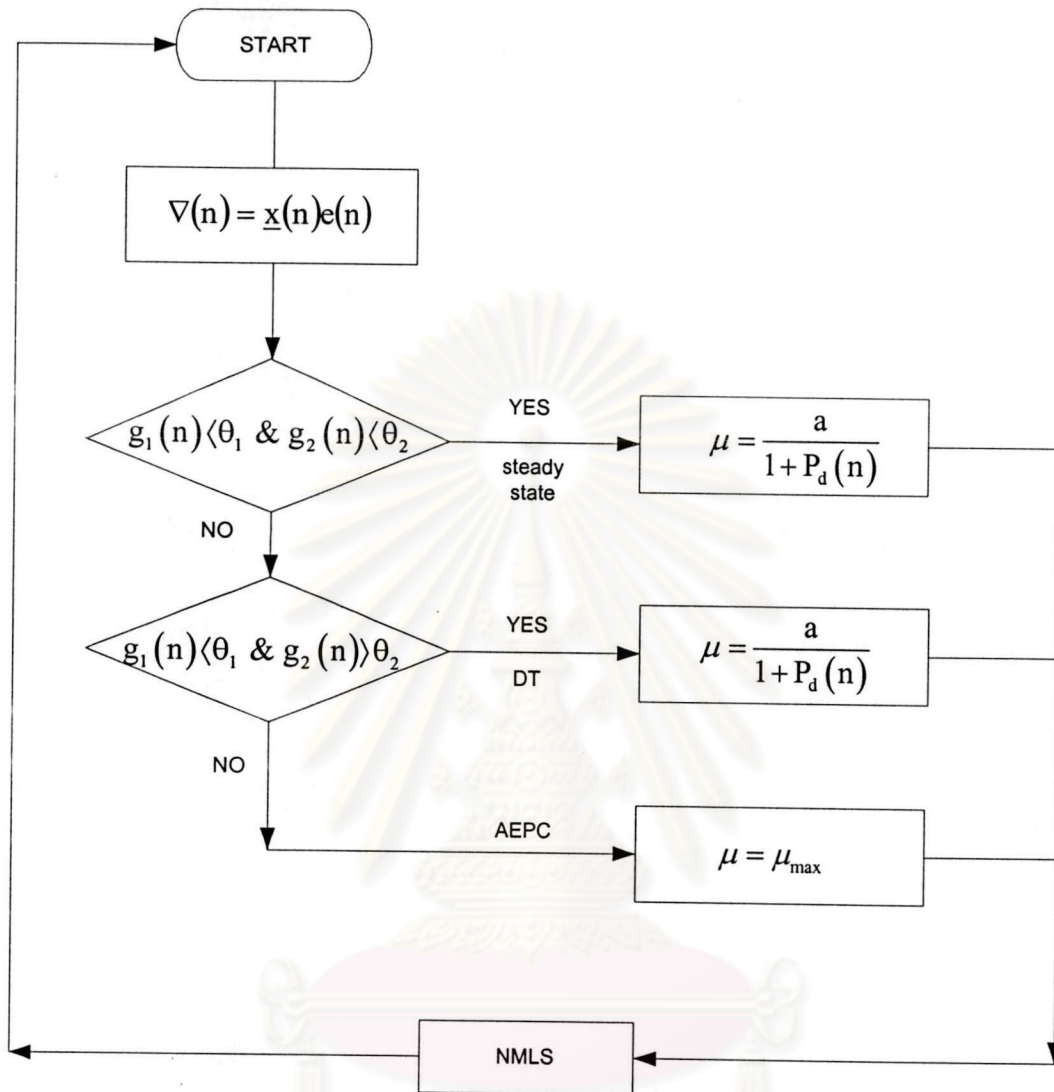
$\alpha$  และ  $\beta$  คือค่าคงที่เล็ก ๆ สำหรับระดับพลังงานของสัญญาณไมโครโฟน  $P_d(n)$  สามารถคำนวณแบบวนซ้ำได้ดังนี้

$$P_d(n) = \lambda_p P_d(n-1) + (1 - \lambda_p) d^2(n) \quad (3.24)$$

เมื่อ  $0 \ll \lambda_p < 1$  คือ smoothing factor

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.5 Flow Chart แสดงการทำงานของ DTD ที่นำเสนอ



รูปที่ 3.16 Flow Chart การทำงานของ DTD ที่นำเสนอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย