

ผลกระทบของสัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์ที่มีต่อวงจรตรวจหา NPML ในช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้ง

Effect for Jitter Noise with NPML Detector in Perpendicular Recording Channels

ณัฐนันท์ ภัทรสวัสดิ์

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยกรุงเทพมหานครสุวรรณภูมิ

489 ถนนประชาพัฒนา แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

E-mail: nutthanun.PS@gmail.com

บทคัดย่อ

สัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์เป็นสัญญาณรบกวนใดๆที่แฝงมากับข้อมูลข่าวสาร ที่มีลักษณะเลื่อนไปของสัญญาณ เกิดขึ้นจากการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะในกระบวนการเขียนข้อมูล ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อวงจรทั่วไปโดยปกติสัญญาณในวงจรตรวจหาของช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็กมีการอ่านค่าสัญญาณจากการเปลี่ยนสถานะและต้องเผชิญกับสัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์ วงจรตรวจหา PRML ทำงานได้ดีเมื่อช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็กเผชิญกับสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบบวก เมื่อความจุข้อมูลสูงขึ้นระบบการบันทึกข้อมูลจะเผชิญกับสัญญาณรบกวนแบบสีรวมทั้งสัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์ มากขึ้นซึ่งส่งผลให้วงจรตรวจหา PRML มีประสิทธิภาพด้อยลง ดังนั้นวงจรตรวจหา NPML จึงได้ถูกนำมาใช้แทนวงจรตรวจหา PRML เป็นที่ทราบว่าการตรวจหา NPML เป็นวงจรที่มีการนำเอาวงจรกรองทำนายแฝงเข้าไปในวงจร PRML เพื่อจัดการกับสัญญาณรบกวนแบบสี แต่อย่างไรก็ตามวงจรตรวจหา NPML ที่ใช้กันทั่วไปไม่สามารถจัดการกับสัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์ บทความนี้จะนำเสนอวิธีการออกแบบวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ที่สามารถจัดการกับสัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์ได้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่นี้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์มี

ความรุนแรงสูง และค่าอัตราส่วนกำลังงานของสัญญาณและกำลังงานของสัญญาณรบกวนสูง

คำสำคัญ: สัญญาณรบกวนแบบจิตเตอร์, วงจรตรวจหาแบบผลตอบสนองบางส่วนควรเป็นมากที่สุด, วงจรกรองทำนาย, การบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง

Abstract

Jitter noise was the noise that is intrinsic to the data. Due to the location of the transition process in writing. This is not a general effect on the circuit. Generally, magnetic recording channel detectors has reading signal of transition position and suffer from jitter noise. In general, a partial-response maximum-likelihood (PRML) detector works reliably well when a magnetic recording channel experienced additive white Gaussian noise (AWGN). At ultra high recording densities, the recording channel will face with both colored noise and jitter noise. Thus, lowering the performance of the PRML detector. Therefore, in this case, the PRML detector has been replaced by a noise-predictive maximum-likelihood (NPML) detector. it is well-known that NPML detector embeds the noise predictor in the PRML detector has

been proposed to combat the colored noise. Nonetheless, the conventional NPML detector cannot combat the jitter noise. As a result, this paper presents a method of designing a new NPML detector that can deal with the jitter noise. Simulations show that the new NPML detector performs better than the conventional NPML detector, especially at high media jitter noise levels and high signal-to-noise ratio (SNR).

Keywords: jitter noise, PRML detector, predictor filter, NPML detector, perpendicular recording channel

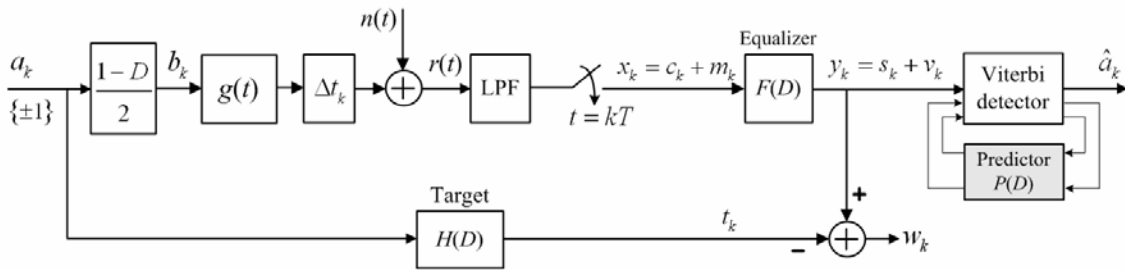
1. คำนำ

เทคนิค PRML คือเทคนิคการใช้งานร่วมกันระหว่างอีควอลไลเซอร์ (equalizer) และวงจรถรจหาวิเทอร์บี (Viterbi detector) [1-2] โดยทั่วไปวงจรถรจหา PRML (partial-response maximum-likelihood) ทำงานได้ดี เมื่อองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนที่ด้านขาเข้าของวงจรถรจหาวิเทอร์บี มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (AWGN)

สัญญาณรบกวนสีบ้นทิกได้ จึงทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้งที่มีความจุข้อมูลสูงๆ

ในการอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ข้อมูลที่เขียนลงไป ในสีบ้นทิกอยู่ในรูปแบบ NRZI (non return-to-zero interleaved) นั่นคือบิต 1 ใช้แทนตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนสถานะ บิต 0 ใช้แทนตำแหน่งที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะ เมื่อหัวอ่าน (read head) เคลื่อนผ่านตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนสถานะของสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะ (transition pulse) โดยสัญญาณรบกวนสีบ้นทิกจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะโดยมีลักษณะการแจกแจงแบบสุ่ม [4] ซึ่งส่งผลทำให้สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะที่ได้จากหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น

บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอีควอลไลเซอร์และทาร์เก็ตสำหรับช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็กมีหลายบทความ เช่น Moon และ Zeng [5] ได้นำเสนอเทคนิคการออกแบบร่วมกันระหว่างอีควอลไลเซอร์แบบ FIR และทาร์เก็ตที่อยู่บนพื้นฐานของข้อผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด



รูปที่ 1 แบบจำลองช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง

อย่างไรก็ตามที่ความจุข้อมูลสูงๆ ช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้งจะเผชิญกับสัญญาณรบกวนแบบสีและสัญญาณรบกวนสีบ้นทิก ซึ่งส่งผลทำให้วงจรถรจหา PRML ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวงจรถรจหา NPML [3] จึงได้ถูกนำมาใช้งานแทนวงจรถรจหา PRML เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามวงจรถรจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไปไม่สามารถจัดการกับ

(MMSE: minimum mean-squared error) ในขณะที่ Yang และ Mathew [6] นำเสนอเทคนิคการออกแบบอีควอลไลเซอร์แบบ FIR สำหรับระบบที่เผชิญกับสัญญาณรบกวนสีบ้นทิก

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบวงจรถรจหา NPML แบบใหม่สำหรับช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้ง โดยอาศัยข้อมูลสัญญาณรบกวนสีบ้นทิกและทฤษฎีอนุกรม

เทย์เลอร์ มาใช้ในการออกแบบ โดยจากผลการทดลองจะพบว่าวงจรตรวจหา NRML แบบใหม่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อช่องสัญญาณมีสัญญาณรบกวนสื่อบันทึกมาก

2. แบบจำลองช่องสัญญาณ

รูปที่ 1 แสดงถึงแบบจำลองช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง เมื่อลำดับข้อมูลอินพุตแบบไบนารี $a_k \in \{\pm 1\}$ ที่มีคาบเวลาของบิตเท่ากับ T ถูกส่งผ่านไปยังวงจรกรองอนุพันธ์อิมพัลส์ (1 - D)/2 เมื่อ D คือตัวดำเนินการหน่วงเวลาหนึ่งหน่วย (unit delay operator) ทำให้ได้เป็นลำดับข้อมูล $b_k \in \{\pm 1, 0\}$ เมื่อ +1 คือบิตเปลี่ยนสถานะแบบบวก (positive transition bit), -1 คือบิตเปลี่ยนสถานะแบบลบ (negative transition bit) เมื่อ $g(t) = \text{erf}(t\sqrt{\ln 16} / PW_{50})$ [2] คือสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้ง, PW_{50} คือความกว้างของสัญญาณพัลส์วัด ณ จุดครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุดของ $g'(t)$, $\ln(\cdot)$ คือฟังก์ชันลอการิทึมฐานธรรมชาติ, $\text{erf}(\cdot)$ คือฟังก์ชันข้อผิดพลาด (error function), $n(t)$ คือสัญญาณรบกวนเกาส์ AWGN ที่มีควมหนาแน่นสเปกตรัมกำลังแบบสองข้าง $N_0/2$ ดังนั้นสัญญาณอ่านกลับ $p(t)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้คือ

$$p(t) = \sum_k b_k g(t - kT + \Delta t_k) + n(t) \quad (1)$$

เมื่อ Δt_k คือสัญญาณรบกวนแบบจัตเตอร์ซึ่งจะถูกจำลองให้มีลักษณะเป็นการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะแบบสุ่มที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นเป็นแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าศูนย์ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $b_k \sigma_j^2$ และถูกจำกัดให้มีค่าไม่เกิน $T/2$ โดยที่ σ_j จะถูกกำหนดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของบิตเซลล์ T และ $|b_k|$ คือค่าสัมบูรณ์ของ b_k ในทางฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ค่า $ND = PW_{50}/T$ คือค่าความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูล จากนั้นสัญญาณอ่านกลับ $p(t)$ จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรกรองผ่านต่ำ (LPF: low-pass filter) บัตเทอร์เวิร์คอันดับที่ 7 และถูกทำการซัดตัวอย่างที่เวลา $t = kT$ โดยสมมุติว่ามีการเข้าจังหวะแบบสมบูรณ์ (perfect synchro-

nization) ทำให้ได้เป็นลำดับข้อมูล x_k จากนั้นลำดับข้อมูล x_k ก็จะถูกส่งไปยังอีควอไลเซอร์จึงได้เป็นลำดับเอาต์พุตของอีควอไลเซอร์ y_k และวงจรตรวจหาวิเทอร์บีเพื่อหาลำดับข้อมูล a_k ที่เป็นไปได้มากที่สุด

3. การออกแบบวงจรกรองทำนาย

บทความนี้ได้นำเอาทฤษฎีอนุกรมเทย์เลอร์มาใช้ในการประมาณค่าสัญญาณอ่านกลับเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบวงจรกรองทำนายหรือกระบวนการในการทำให้สัญญาณรบกวนเป็นสีขาว (noise whitening process) ดังนั้นสมการ (1) สามารถจัดรูปใหม่ได้คือ

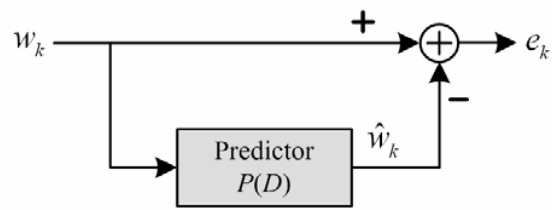
$$p(t) \approx \sum_k b_k g(t - kT) + \sum_k b_k \Delta t_k g'(t - kT) + n(t) \quad (2)$$

เมื่อ $g'(t)$ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ $g(t)$ โดยที่สัญญาณที่ได้จากการซัดตัวอย่างสัญญาณจะมีรูปแบบของสมการคือ

$$x_k = c_k + m_k \quad (3)$$

เมื่อ c_k คือสัญญาณที่ต้องการรวมกับสัญญาณรบกวน AWGN

(นั่นคือพจน์ที่ 1 และ 3 ทางด้านขวามือของสมการที่ (2)), m_k คือสัญญาณที่ไม่ต้องการที่มีองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนสื่อบันทึก (นั่นคือ พจน์ที่ 2 ทางด้านขวามือของสมการที่ (2))



รูปที่ 2 กระบวนการในการทำให้สัญญาณรบกวนเป็นสีขาว

ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนของอีควอไลเซอร์และทาร์เก็ตในรูปของโดเมน D คือ $F_{FIR}(D) = \sum_{k=-K}^K f_k D^k$ เมื่อ K คือจำนวนเต็ม, f_k คือค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ k ที่เป็นเลขจำนวนจริงในแต่ละแท็ปของอีควอไลเซอร์ และ $H(D) =$

$\sum_{k=0}^V h_k D^k$ เมื่อ h_k คือค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ k , V คือหน่วยความจำของช่องสัญญาณ ดังนั้นลำดับข้อมูล x_k ถูกส่งไปยังอีควอลไลเซอร์ทำให้ได้เป็นลำดับเอาต์พุตของอีควอลไลเซอร์ y_k ที่ประกอบไปด้วย $s_k + v_k$ เมื่อ $s_k = c_k * f_k$ และ $v_k = m_k * f_k$ เมื่อ $*$ เป็นตัวดำเนินการคอนโวลูชัน (convolution operator)

โดยทั่วไปข้อผิดพลาดที่ได้จากการออกแบบทาร์เก็ตสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างเอาต์พุตของอีควอลไลเซอร์ y_k และเอาต์พุตของทาร์เก็ต t_k ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นสัญญาณรบกวนแบบสี (colored noise) นั่นคือ $w_k = y_k - t_k$ ดังนั้นถ้าให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองทำนาย (prediction filter) ในโดเมน D คือ $P(D) = \sum_{i=1}^N p_i D^i$, p_i คือค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ i ของวงจรกรองทำนาย และ N คือจำนวนแท็ปทั้งหมดของวงจรกรองทำนาย เพราะฉะนั้นข้อผิดพลาดการทำนาย e_k สามารถจัดรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้คือ

$$e_k = w_k - \hat{w}_k = w_k - \sum_{i=1}^N p_i w_{k-i} = s_k + v_k - t_k - \sum_{i=1}^N p_i (s_{k-i} + v_{k-i} - t_{k-i}) \quad (4)$$

เนื่องจาก $w_k = y_k - t_k = s_k + v_k - t_k$ (จากรูปที่ 1)

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองทำนายที่ดีที่สุดคือการทำให้อำนาจข้อผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด นั่นคือ

$$E[e_k^2] = E[(s_k + v_k - t_k - \sum_{i=1}^N p_i (s_{k-i} + v_{k-i} - t_{k-i}))^2] \quad (5)$$

เมื่อ $E[\cdot]$ คือตัวดำเนินการคาดหมาย (expectation operator) โดยกระบวนการทำให้สมการที่ (5) มีค่าน้อยสุด ทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (5) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรอง p_i แต่ละตัว แล้วให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นโดยอาศัยหลักการเชิงตั้งฉาก (orthogonality principle) [4] จะได้ว่า

$$E[(s_k + v_k - t_k - \sum_{i=1}^N p_i (s_{k-i} + v_{k-i} - t_{k-i}))(s_m + v_m - t_m)] = 0 \quad (6)$$

โดยที่ $m = 1, 2, \dots, N$ โดยการแก้สมการ(6) จะได้เป็น

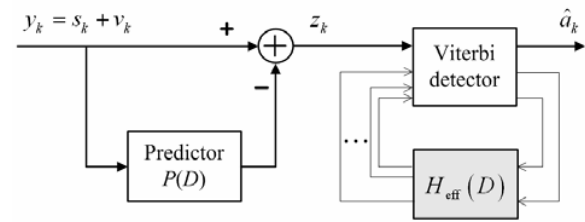
$$R_{ss}(j) + R_{sv}(j) - R_{st}(j) + R_{vs}(j) + R_{vv}(j) - R_{vt}(j) - R_{ts}(j) - R_{tv}(j) + R_{tt}(j) = \sum_{i=1}^N p_i \{ R_{ss}(j-i) + R_{sv}(j-i) - R_{st}(j-i) + R_{vs}(j-i) + R_{vv}(j-i) - R_{vt}(j-i) - R_{ts}(j-i) + R_{tv}(j-i) \} \quad (7)$$

สำหรับ $j = 1, 2, \dots, N$ เมื่อ $R_{ss}, R_{sv}, R_{st}, R_{vs}, R_{vv}, R_{vt}, R_{ts}, R_{tv}$ เป็นฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (correlation function) สมการที่ (7) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้คือ

$$\underbrace{\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_3 + \mathbf{r}_4 + \mathbf{r}_5 - \mathbf{r}_6 - \mathbf{r}_7 - \mathbf{r}_8 + \mathbf{r}_9}_{\mathbf{r}} = \underbrace{(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 - \mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_4 + \mathbf{R}_5 - \mathbf{R}_6 - \mathbf{R}_7 - \mathbf{R}_8 + \mathbf{R}_9)}_{\mathbf{R}} \mathbf{p} \quad (8)$$

เมื่อ $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_5$, และ \mathbf{r}_9 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ขนาด N -by-1 ของ s_k, v_k , และ t_k ตามลำดับ, \mathbf{r}_2 และ \mathbf{r}_4 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ข้ามขนาด N -by-1 ระหว่าง s_k และ v_k เมื่อ $R_{sv}(j) = R_{vs}(-j)$, \mathbf{r}_3 และ \mathbf{r}_7 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ข้ามขนาด N -by-1 ระหว่าง s_k และ t_k เมื่อ $R_{st}(j) = R_{ts}(-j)$, \mathbf{r}_6 และ \mathbf{r}_8 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ข้ามขนาด N -by-1 ระหว่าง v_k และ t_k เมื่อ $R_{vt}(j) = R_{tv}(-j)$ นอกจากนี้ $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_5$, และ \mathbf{R}_9 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ขนาด N -by- N ของ s_k, v_k และ t_k ตามลำดับ, \mathbf{R}_2 และ \mathbf{R}_4 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ข้ามขนาด N -by- N ระหว่าง s_k และ v_k , \mathbf{R}_3 และ \mathbf{R}_7 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ขนาด N -by- N ระหว่าง s_k และ t_k , \mathbf{R}_6 และ \mathbf{R}_8 คือเมทริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ขนาด N -by- N ระหว่าง v_k และ t_k , และ $\mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_N]^T$ คือเวกเตอร์ที่มีสมาชิก N ตัว เนื่องจากสมการที่ (8) มีรูปแบบเป็นแบบเชิงเส้น นั่นคือ $\mathbf{r} = \mathbf{R}\mathbf{p}$ โดยที่ \mathbf{R} เป็นเมทริกซ์จัตุรัส ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองทำนาย \mathbf{p} สามารถหาได้จาก

$$\mathbf{p} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{r} \quad (9)$$



รูปที่ 3 วงจรตรวจหา NPML แบบใหม่

อย่างไรก็ตามบทความนี้นำเสนอวิธีการออกแบบวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่มีโครงสร้างตามรูปที่ 3 เมื่อคำนวณหาวงจรกรองทำนาย $P(D)$ ตามสมการ(9) จากนั้นนำ

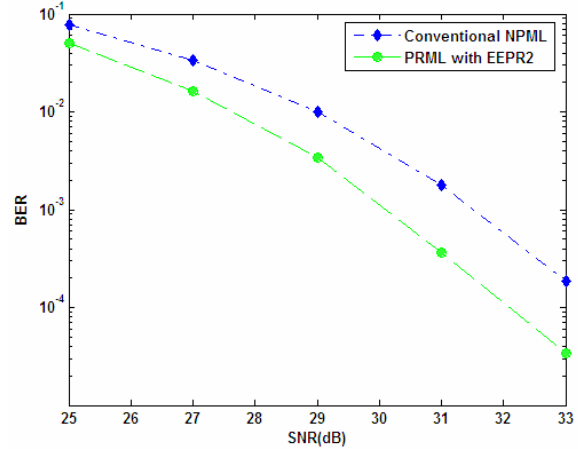
ลำดับข้อมูลเอาต์พุตของอีควอลไลเซอร์ y_k ที่สอดคล้องกับทาร์เก็ต $H(D)$ ผ่านวงจรกรองทำนาย $1 - P(D)$ ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็น $z_k = y_k - \sum_{i=1}^N p_i y_{k-i}$ จากนั้นก็จะส่งลำดับข้อมูล z_k เข้ายังวงจรตรวจหาวิเทอริบีที่สร้างจากทาร์เก็ตประสิทธิภาพ (effective target) $H_{\text{eff}}(D)$ คือ

$$H_{\text{eff}}(D) = H(D)[1 - P(D)] \quad (10)$$

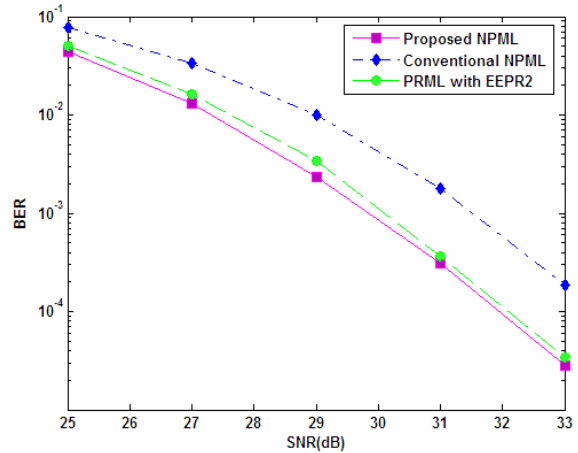
5. ผลการทดลอง

บทความนี้ทำการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการบันทึกข้อมูลแบบแวนดิงที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนสีบ้นทิกตามรูปที่ 1 โดยค่าอัตราส่วนกำลังงานของสัญญาณต่อกำลังงานของสัญญาณรบกวน (SNR: signal-to-noise ratio) นิยามโดย $\text{SNR} = 10 \log_{10}(1/\sigma^2)$ มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB: decibel) เมื่อกำลังงานของสัญญาณรบกวนคือ $\sigma^2 = N_0 / (2T)$ โดยใช้ทาร์เก็ตแบบ PR2 (นั่นคือ $H(D) = 1 + 2D + D^2$) และอีควอลไลเซอร์ที่ใช้มีจำนวน 11 แท๊ป ซึ่งถูกออกแบบโดยเทคนิคข้อผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด ณ SNR ที่ทำให้เกิดอัตราข้อผิดพลาดบิต (BER: bit-error rate) เท่ากับ 10^{-4} ในระบบที่ไม่เผชิญกับสัญญาณรบกวนสีบ้นทิกและใช้วงจรกรองทำนายแบบ 2 แท๊ปกับวงจรตรวจหา NPML นอกจากนี้แต่ละจุดของค่า BER จะคำนวณโดยใช้ข้อมูลหลายๆ เซกเตอร์ (1 เซกเตอร์มีจำนวน 4096 บิต) จนกระทั่งได้ข้อผิดพลาดมากกว่าหรือเท่ากับ 1000 บิต

รูปที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป และวงจรตรวจหา PRML ที่ $\text{ND} = 3$ ในระบบที่มีความรุนแรงของสัญญาณรบกวนสีบ้นทิกสูง ($\sigma_j^2 = 4\%$) พบว่าวงจรตรวจหา PRML มีการใช้ SNR ประมาณ 32 dB ที่ทำให้ได้ค่า $\text{BER} = 10^{-4}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ที่มีการใช้ SNR ประมาณ 33.5 dB นั่นแสดงว่า วงจรตรวจหา PRML มีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป เนื่องจากมีการใช้จำนวนแท๊ปของทาร์เก็ตที่มากกว่า



รูปที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรตรวจหา PRML และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป ($\sigma_j^2 = 4\%$)

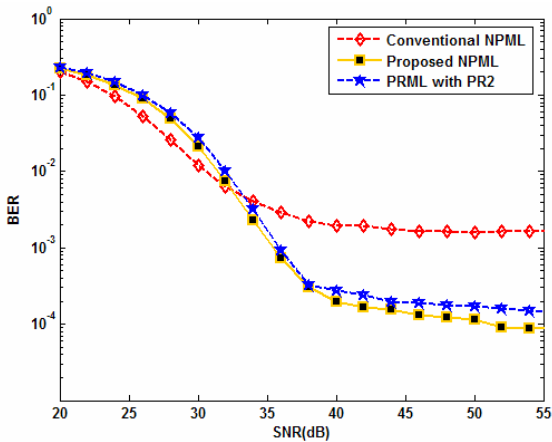


รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่, วงจรตรวจหา PRML และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป ($\sigma_j^2 = 4\%$)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่, วงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป และวงจรตรวจหา PRML ที่ $\text{ND} = 3$ ในระบบที่มีความรุนแรงของสัญญาณรบกวนสีบ้นทิก ($\sigma_j^2 = 4\%$) วงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ มีการใช้ SNR ประมาณ 31.5 dB ที่ทำให้ได้ค่า $\text{BER} = 10^{-4}$ วงจรตรวจหา PRML มีการใช้ SNR ประมาณ 32 และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไปมีการใช้ SNR ประมาณ 34.5 dB จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ มีใช้ SNR ที่มี

ค่านี้ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวงจรตรวจหา PRML และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป

นอกจากนี้ในรูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่, วงจรตรวจหา NPML แบบที่ใช้กันทั่วไป และวงจรตรวจหา PRML ที่ $ND = 3$ ในระบบที่มีความรุนแรงของสัญญาณรบกวนสื่อบันทึกสูง โดยการเพิ่มความรุนแรงของสัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์ ณ ระดับ $\sigma_j^2 = 8\%$ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป เกิดข้อผิดพลาดแบบพื้น (นั่นแสดงว่า ถึงแม้จะเพิ่มค่า SNR ให้มีค่าสูงขึ้นก็ตาม ค่า BER ก็ไม่สามารถลดลงไปจนถึงศูนย์ได้อีก) ที่ $BER = 2 \times 10^{-4}$ วงจรตรวจหา PRML มีการเกิดข้อผิดพลาดแบบพื้นที่ $BER = 2.5 \times 10^{-4}$ และวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ มีการเกิดข้อผิดพลาดแบบพื้นที่ $BER = 2 \times 10^{-5}$ นั่นแสดงว่าวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ มีความเหมาะสมกับระบบที่มีความผลกระทบจากสัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์ที่ระดับความรุนแรงสูง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่, วงจรตรวจหา PRML และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป ($\sigma_j^2 = 8\%$)

6. สรุป

การบันทึกข้อมูลที่มีความจุข้อมูลสูงขึ้น ในขณะเดียวกันระบบที่มีการบันทึกข้อมูลที่มากขึ้นย่อมส่งผลให้ระบบมีการประมวลผลของช่องสัญญาณการบันทึกข้อมูล

สูงขึ้นตามไปด้วยโดยองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์ที่ด้านขาเข้าของวงจรตรวจหาที่มีเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทำให้สัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์ที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรตรวจหา PRML และวงจรตรวจหา NPML แบบทั่วไป การใช้งานวงจรตรวจหา NPML แบบใหม่ที่ถูกรออกแบบโดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนสื่อบันทึก จึงให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในระบบการบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความรุนแรงของสัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์ที่มีค่าที่สูงขึ้น

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบจัตวอร์จำนวนมาก จึงทำให้วงจรตรวจหา NPML ซึ่งใช้ทาร์เก็ตประสิทธิภาพที่มีจำนวนแท็ปมากเมื่อเทียบกับวงจรตรวจหา PRML ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่ความไม่แน่นอนสูง การใช้งานทาร์เก็ตที่มีจำนวนแท็ปมาก (และถูกรออกแบบมาไม่ได้) จะมึประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้งานทาร์เก็ตที่มีจำนวนแท็ปน้อย จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมวงจรตรวจหา PRML จึงมีประสิธิภาพดีกว่าวงจรตรวจหา NPML

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. D. Cideciyan, Dolivo, R. Hermann, W. Hirt, and W. Schott, "A PRML system for digital magnetic recording," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 10, pp. 38 – 56, Jan 1992.
- [2] G. D. Forney, "Maximum-likelihood sequence estimation of digital sequences in the presence of intersymbol interference," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-18, pp. 363 – 367, May 1972.
- [3] E. Eleftheriou and W. Hirt, "Noise-predictive maximum-likelihood (NPML) detection for the magnetic recording channel," in *Proc. of ICC'96*, vol. 1, pp. 556 – 560, Jun 1996.

- [4] J. Moon, "Discrete-time modeling of transition noise dominant channels and study of detection performance," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 27, pp. 4573 – 4578, Nov 1991.
- [5] J. Moon and W. Zeng, "Equalization for maximum likelihood detector," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 31, pp. 1083 – 1088, Mar 1995.
- [6] H. Yang and G. Mathew, "Joint Design of Optimum Partial Response Target and Equalizer for Recording Channels With Jitter Noise," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 42, no. 1, Jan 2006.