

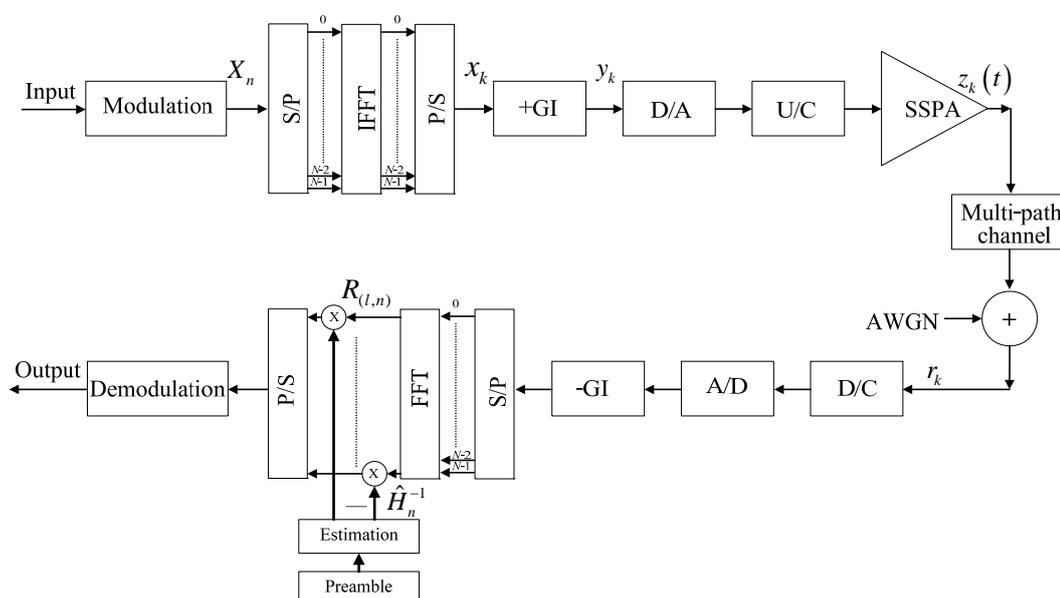
บทที่ 4

การหาค่าประสิทธิภาพของระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณของระบบ โอเอฟดีเอ็มและทำการเปรียบเทียบ โดยการจำลองการทำงานของระบบ โอเอฟดีเอ็มแบบที่นำเสนอเปรียบเทียบกับแบบพื้นฐาน โดยในวิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการที่ลดค่าพีเอพียอร์ด้วยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมคูณเข้าสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มเพื่อลดค่าพีเอพียอร์ ซึ่งได้จากวิธีการคำนวณแบบที่เสนอ เพื่อลดค่าพีเอพียอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ว่านี้ได้อธิบายโดยละเอียดไปในบทที่ 3 ค่าสมรรถนะต่างๆที่แสดงถึงประสิทธิภาพในด้านต่างๆของวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งจะแสดงเป็นลำดับดังนี้ อย่างแรกคือจำนวนรอบของการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่สามารถลดค่าพีเอพียอร์ที่มากที่สุด สองเป็นการแสดงค่าความน่าจะเป็นของการเกิดค่าพีเอพียอร์โดยทั่วไปจะนิยมใช้การวัดค่าพีเอพียอร์แบบ CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) และเปรียบเทียบเทคนิควิธีที่เสนอเทียบกับวิธีการ โอเอฟดีเอ็มแบบเดิม และส่วนสุดท้ายจะแสดงประสิทธิภาพอัตราความผิดพลาดข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบเนื่องจากการบ่งชี้ถึงระบบว่าดีมาน้อยเพียง ดังจะแสดงเป็นลำดับต่อไปนี้

4.1 แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบ

การโครงสร้างจำลองของระบบ โอเอฟดีเอ็มสามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมในบทที่ 3 นั้นก่อนที่จะส่งสัญญาณออกจากเครื่องส่งนั้นสัญญาณต้องป้อนเข้าเครื่องขยายสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณออกอากาศโดยใช้วงจรถยายภาคสุดท้ายเพื่อให้กำลังของสัญญาณแรงและสามารถส่งสัญญาณนั้นไปได้ไกล แต่ว่าวงจรถยายมีความไม่เป็นเชิงเส้นทำให้สัญญาณบางส่วนถูกคลิปปออกไป กลายเป็นสัญญาณรบกวนเมื่อสัญญาณเดินทางไปถึงเครื่องรับ โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วงจรถยายแบบ SSPA คุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรถยายนี้สามารถกำหนดได้จากสมการที่ (3.5) และ (3.6) โดยกำหนดได้จากพารามิเตอร์ r เมื่อพารามิเตอร์ r มีค่าสูงขึ้นคุณสมบัติของวงจรถยายจะเป็นเชิงเส้น ในทางตรงกันข้ามคือ พารามิเตอร์ r มีค่าน้อยลงจะทำให้วงจรถยายมีความไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้น คุณสมบัติแบบไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อค่าพารามิเตอร์ r เปลี่ยนแปลงค่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ในทางปฏิบัติแล้วค่าพารามิเตอร์ r จะอยู่ที่ประมาณ r เท่ากับ 2 ซึ่งเป็นวงจรถยายที่ใกล้เคียงในทางปฏิบัติ ดังนั้นในการจำลองการทำงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดทำให้ค่าพารามิเตอร์ r เท่ากับ 2 ทั้งหมดในการหาค่าประสิทธิภาพต่างๆ ทั้งวิธีการทั่วไปและวิธีการแบบที่นำเสนอ



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของระบบ โอเอฟดีเอ็มแบบทั่วไปในช่องสัญญาณมัลติพาล

จากรูปที่ 4 เป็นรูปแสดงระบบ โอเอฟดีเอ็มที่ประกอบทั้งในส่งของเครื่องส่งและเครื่องรับ ในแบบจำลองนี้เป็นการจำลองแบบมัลติพาล (Multi-path channel) ดังนั้นในระบบ โอเอฟดีเอ็มทั่วไป ทางด้านเครื่องรับจะต้องประกอบไปด้วยวงจรปรับเท่าระดับสัญญาณหรืออีควอไรซ์เซชัน เพื่อชดเชยสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเดินทางผ่านช่องสัญญาณแบบมัลติพาลของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็ม วิธีการปรับเท่าระดับของสัญญาณสามารถทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามากับช่องสัญญาณที่ได้จากการประมาณช่องสัญญาณ วิธีการปรับเท่าระดับสัญญาณนี้สามารถทำให้ประสิทธิภาพอัตราการผิดพลาดของข้อมูลดีขึ้น วิธีการนี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้ทั่วไปเนื่องจากสามารถทำได้ง่ายไม่มีความซับซ้อน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการปรับปรุงเฉพาะในส่งของเครื่องส่งเท่านั้น โดยที่ทางด้านเครื่องรับสามารถใช้ได้กับเครื่องรับแบบทั่วไป ดังนั้นการเปรียบเทียบของทั้งสองระบบ จะใช้เครื่องระบบเช่นเดียวกันทั้งแบบทั่วไปและแบบที่นำเสนอ

4.2 การกำหนดจุดการขยายสัญญาณให้กับเครื่องขยายสัญญาณ

ข้อจำกัดของวิธีการมอดูเลตของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มคือมีการแกว่งของสัญญาณมาก หรือมีค่าพีเอพาร์สูงดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 เส้นปะเป็นตัวอย่างของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มทางด้าน แจนเวลาทางด้านอินพุตของวงจรขยายทางด้านเครื่องส่ง ในการจำลองการทำงานนี้กำหนดให้ อัตราการขยายของวงจรแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต เมื่อสัญญาณเอาท์พุทของ

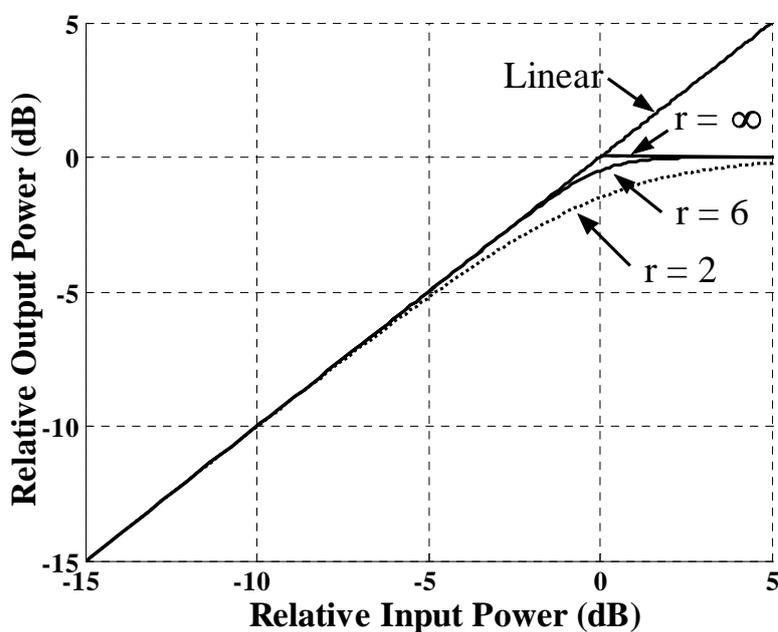
วงจรรขยายที่ไม่เป็นเชิงเส้น สัญญาณโอเอฟดีเอ็มจะถูกคลิป์ (clip) หรือตัดที่บริเวณส่วนยอดของสัญญาณ ดังแสดงดังรูปที่ 4.3 จะเป็นเส้นทึบ ซึ่งการคลิป์สัญญาณ ส่วนยอดนี้จะส่งผล ให้เกิดสัญญาณรบกวนหรือที่เรียกว่า อินเทอร์มอดูเลชันน้อยส์ สาเหตุการคลิป์ ของสัญญาณนี้มาจากที่จุดการทำงานของวงจรรขยายใกล้จุดอิ่มตัว ทำให้สัญญาณ ที่มีค่าสูงกว่าจุดอีกตัว ไม่สามารถที่จะขยายได้จึงเกิดขึ้นเหมือนกับตัดที่ส่วนยอดของสัญญาณ อินเทอร์มอดูเลชันน้อยส์นี้จะส่งผลให้สมรรถนะของอัตราการข้อมูลผิดพลาดสูงขึ้น หรือนั้นอีกความหมายหนึ่งคือสมรรถนะของระบบลดลง วิธีการอย่างง่ายเพื่อลดอัตราการผิดพลาดของบิตข้อมูลคือการกำหนดจุดการทำงานของวงจรรขยายให้ห่างจากจุดการทำงานอิ่มตัวของวงจรรขยาย ซึ่งจุดการทำงานของวงจรรขยายสามารถกำหนดได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$IBO = 10 \log \frac{P_{in}}{P_0} \quad (4.1)$$

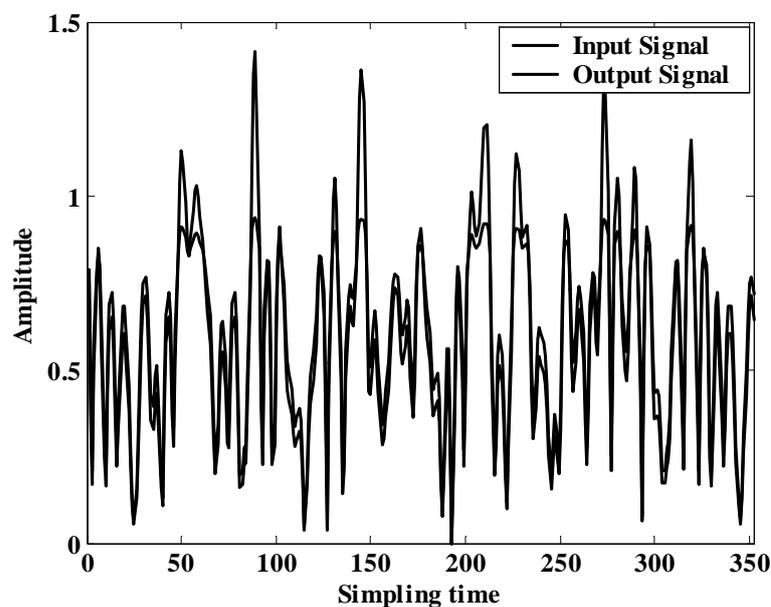
เมื่อ IBO คือจุดการทำงานของวงจรรขยายมีหน่วยเป็นdB (IBO: Input Back-Off)

P_{in} คือค่ากำลังงานของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มทางด้านอินพุต

P_{out} คือค่ากำลังงานของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มทางด้านเอาต์พุต

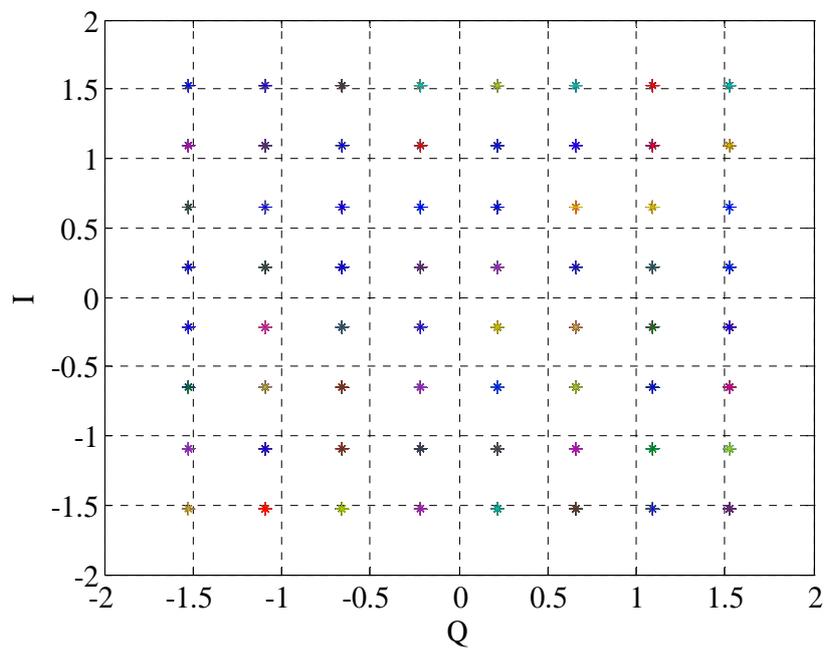


รูปที่ 4.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับเครื่องขยายสัญญาณ

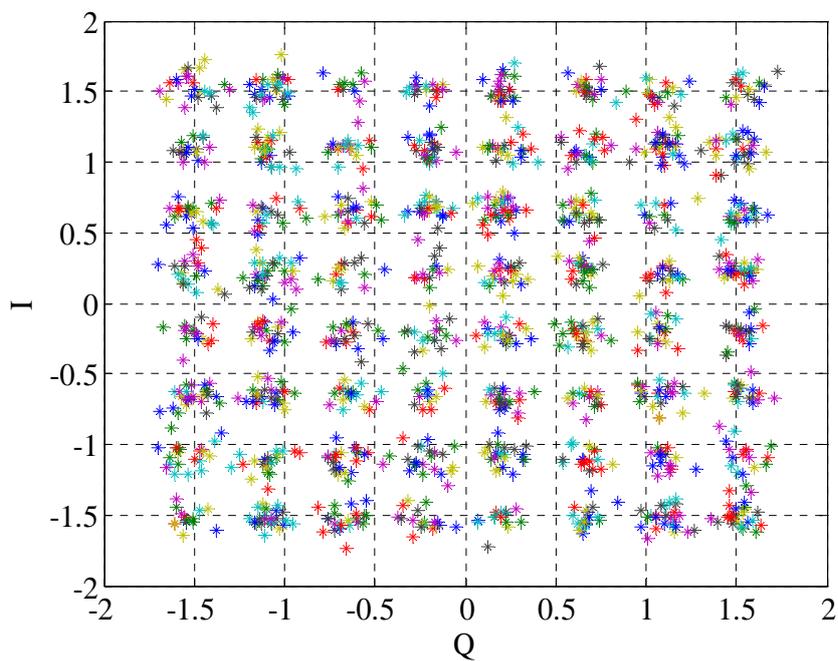


รูปที่ 4.3 สันนิษฐานอิทธิพล-เอาต์พุทของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็ม ในช่วงสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น

เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ สามารถแสดงสัญญาณอินพุท-เอาต์พุทของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็ม ในแกนความถี่ ได้ดังรูปที่ 4.4 (a) และ 4.4(b) ตามลำดับ จากทั้งสองรูปนี้จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่า สัญญาณอินพุท สัญญาณการมอดูเลตแบบ 64QAM นั้นค่าของสเปกตรัมไออะแกรม แต่ละกลุ่ม ข้อมูลจะเป็นจุดๆเดียวกัน หรืออีกความหมายหนึ่งคือ ไม่มีสัญญาณรบกวนอยู่ ต่างจากรูปที่ 4.4(b) ซึ่งสเปกตรัมไออะแกรมแต่ละกลุ่ม ข้อมูลจะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน ไม่เป็นจุดๆเดียว ซึ่งเกิดจากมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย ลักษณะของสเปกตรัมไออะแกรม แต่ละกลุ่มข้อมูลจะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนนี้ จะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับกำลังงานของสัญญาณรบกวน หนึ่งในวิธีการเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรขยายนั้นก็คือ การลดค่าพีเอพ็อดให้ได้มากที่สุด



(ก) สัญญาณก่อนผ่านวงจรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้น



(ข) สัญญาณเมื่อผ่านวงจรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้น

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสแคทเทอร์ไดอะแกรมของสัญญาณ 64QAM ในช่องสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB ในการจำลองระบบ โดย จะทำการจำลองการทำงานเปรียบเทียบแบบพื้นฐานเปรียบเทียบกับวิธีการที่เสนอ ในการจำลองการทำงานกำหนดให้เครื่องรับเป็น โคฮีเร้นท์ดีเทคเตอร์(coherent detector) การซิงค์ไคโนที่เป็นอุดมคติ (ideal synchronization)

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

| | |
|---|-------------|
| Modulation | 64QAM |
| Demodulation | Coherent |
| Allocation bandwidth | 5MHz |
| Number of FFT points | 256 |
| Number of sub-carriers | 64 |
| Symbol duration | 12.8us |
| Guard interval | 1.28us |
| Non-linear amplifier | SSPA |
| Non-linear parameter of SSPA | $r=2$ |
| Number of data symbols in one frame | 12 |
| Number of preamble symbols in one frame | 2 |
| Multi-path fading model | |
| Power delay profile | Exponential |
| Number of delay paths | 16 |
| Decay constant | -1dB |

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานนี้ได้อ้างอิงกับระบบ IEEE 802.11a และ IEEE 802WG เพื่อให้ผลการจำลองมีตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเข้ามาร่วมวิเคราะห์ ซึ่งค่าจำลองของจำนวนการจางหายของสัญญาณแบบหลายเส้นทางที่ในการจำลองนี้เลือกใช้นั้นเป็นโมเดลที่ให้ค่าความแปรปรวนของช่องสัญญาณใกล้เคียงกับสภาวะการส่งสัญญาณจริงในทางปฏิบัติมากที่สุดที่ได้มีบทวิเคราะห์จากหลายบทความ ซึ่งในการจำลองการทำงานของวิทยานิพนธ์นี้นำมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการส่งผ่านของระบบ

4.4 ประสิทธิภาพพีเอพ็อร์วิธีที่เสนอเปรียบเทียบกับวิธีแบบพื้นฐาน

ในการจำลองการทำงานในเทคนิคที่เสนอนี้เป็นการเสนอเทคนิคการลดค่าพีเอพ็อร์โดยประสิทธิภาพที่ได้จะเปรียบเทียบกับเทคนิคพื้นฐานของการส่งสัญญาณในระบบโอเอฟดีเอ็ม ซึ่งในการลดค่าพีเอพ็อร์นี้ได้ใช้พื้นฐานของเทคนิค Time-Frequency Swapping [7] ร่วมกับเทคนิคใหม่ที่เสนอโดยการสร้างสัมประสิทธิ์มูมขึ้นจากการใช้เทคนิคสลับสัญญาณไปมาระหว่างแกนเวลา-แกนความถี่ เพื่อนำค่านี้เป็นค่าอ้างอิงในการหาค่ามูมที่ผิดพลาดของสัญญาณนี้มาเป็นสัญญาณที่ใช้ในการปรับค่าพีเอพ็อร์ดังจะมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 การหาค่าประสิทธิภาพพีเอพ็อร์ทางเครื่องส่ง

ในการจำลองการทำงานของระบบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบนั้นมีพารามิเตอร์ที่ได้มีผู้เสนอมมาแล้วว่าจะให้ผลการทดลองที่ให้ผลใกล้เคียงกับทางปฏิบัติและในการจำลองการทำงานของวิทยานิพนธ์นี้ก็จะใช้พารามิเตอร์นี้เป็นเกณฑ์ร่วมในการทดลอง คือ จำนวนของ FFT จะใช้จำนวน เป็นจำนวน 4 เท่าของจำนวนคลื่นพาห่อยจริงที่เราใช้ เช่น 64 คลื่นพาห่อยจำนวน FFT ทั้งหมดจะเท่ากับ 256 และจำนวนของ zero padding เท่ากับ 192 เพื่อให้ผลการจำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอพ็อร์ในทางปฏิบัติ ซึ่งได้มีผู้ที่พิสูจน์มาแล้ว [10] นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งเหตุผลของการใส่ zero padding คือในการออกแบบระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพของช่องสัญญาณของการใช้ analogue filter เพื่อกำจัดค่า aliasing ที่เกิดขึ้นกับเอทพุทในกระบวนการ D/A เมื่ออัตราการซุ่มมากกว่าอัตรา Nyquist Sampling แต่วิธีการลดค่าพีเอพ็อร์นี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการ digital processing ด้วยเทคนิคที่เสนอนี้รวมถึงการใช้การสุมสัญญาณในแกนเวลา โดยการสุมสัญญาณในแกนเวลาให้ได้ประสิทธิภาพนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของ zero padding ซึ่งส่งผลถึงอัตราการซุ่มของสัญญาณโอเอฟดีเอ็มจากผลกระทบนี้นี้ การใช้การ Over Sampling เท่ากับ 4 เท่าของ Nyquist Sampling ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้สัญญาณที่สุมทางเวลาจะพิจารณาที่สัญญาณอนาล็อกในการหาค่าประสิทธิภาพของพีเอพ็อร์ โดยจะแสดงการทดลองเป็นลำดับดังนี้

$$PAPR = 10 \log \left(\frac{P_{\max}}{P_{av}} \right) \quad (4.2)$$

$$P_{\max} = \text{Max}_k |y_k|^2 \quad (4.3)$$

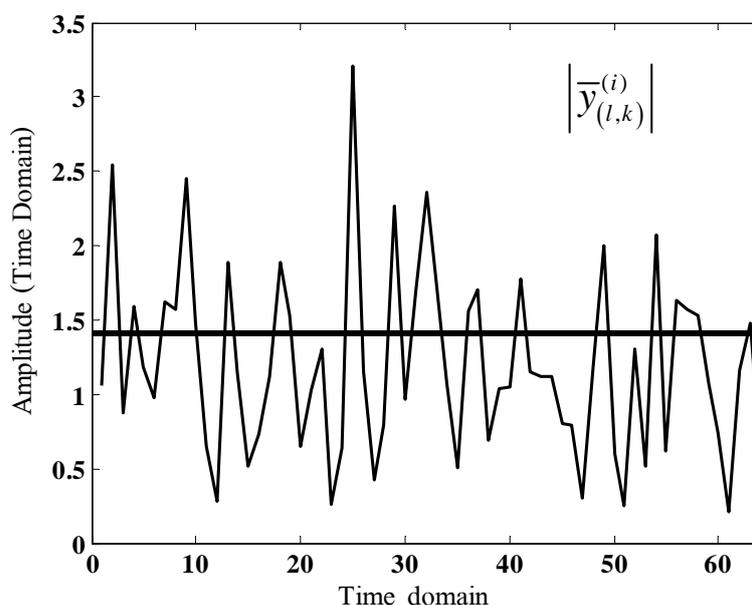
$$P_{av} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |y_k|^2 \quad (4.4)$$

กำหนดให้ $|y_k|$ เป็นขนาดของสัญญาณโอเอฟดีเอ็มทางด้านแกนเวลาซึ่งวิธีการหาค่าสมรรถนะของระบบและค่าพีเอพอาร์นั้น วิธีการหาจะใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นของการเกิดค่าพีเอพอาร์กับสัญญาณโอเอฟดีเอ็มในแต่ละสัญลักษณ์ที่มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ยกตัวอย่างเช่นกำหนด ζ เป็นค่าคงที่ใดๆ เพื่อใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณโอเอฟดีเอ็มซึ่งเป็น วิธีการหาค่าความน่าจะเป็นแบบ คอมพริเมนต์ารีคอมมิวนิตีฟิสติบิวฟังก์ชัน (CCDF: Complementary Cumulative Distribution Function) โดยแสดงความสัมพันธ์ทางสมการได้ดังนี้

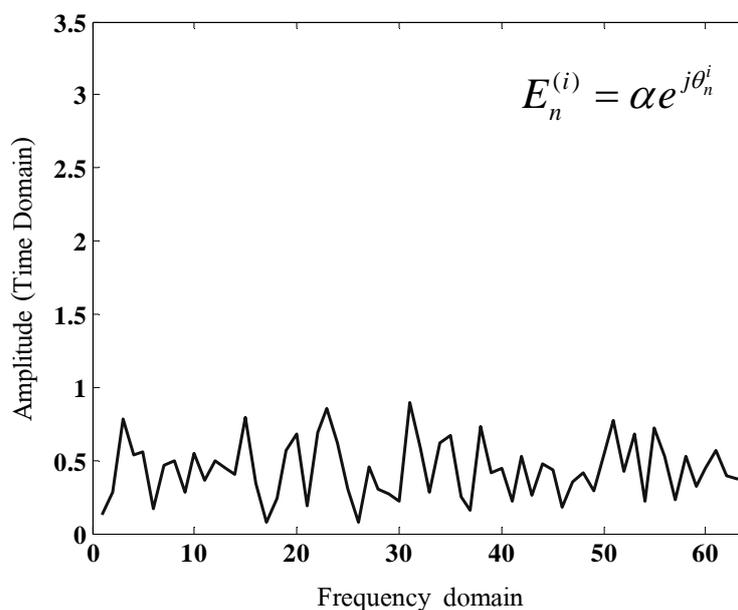
$$CCDF(PAPR(x_k(t))) = \Pr(PAPR(x_k(t)) > \zeta) \quad (4.5)$$

4.4.2 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์มูมจากสัญญาณในแต่ละเฟรม

ในกระบวนการ Time-Frequency Swapping นั้นสัญญาณที่ผิดพลาดจะสร้างขึ้นมาจากสัญญาณที่แซมปิ้งขึ้นมาทางแกนเวลา โดยการกำหนดระดับขนาดสัญญาณอ้างอิง ถ้าหากสัญญาณที่มีขนาดเกินระดับสัญญาณอ้างอิงที่กำหนดจะถึงว่าเป็นสัญญาณเออร์เลอร์ (Error Signal) ดังแสดงได้ดังรูป



(ก) สัญญาณโอเอฟดีเอ็มและค่าเฉลี่ยของสัญญาณในแกนเวลา



(ข) สัญญาณเออร์เลอร์ที่ได้จากเทคนิค Time-Frequency Swapping

รูปที่ 4.5 สัญญาณ โอเอฟดีเอ็มในแกนเวลาของกระบวนการ Time-Frequency Swapping

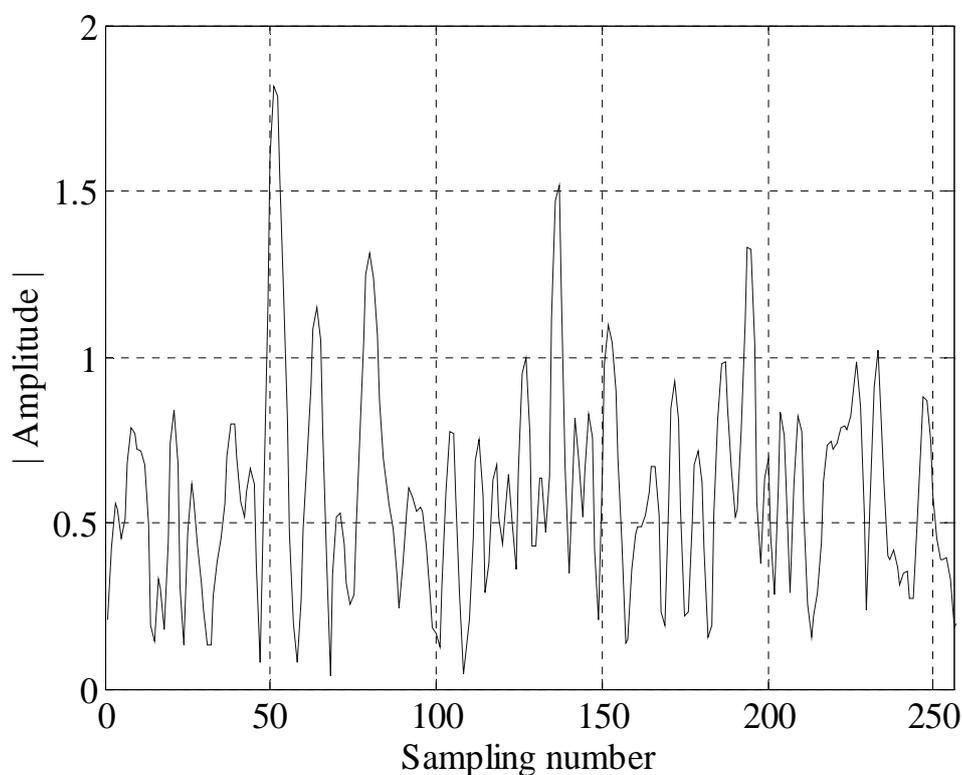
เมื่อสัญญาณที่ผิดพลาดซึ่งได้มาจากทางแกนเวลาดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.5(ข)เป็นสัญญาณเออร์เลอร์ที่อยู่ในแกนความถี่ซึ่งได้มาจากการแปลงโดยใช้ FFT จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณนี้กลับไปทางแกนเวลาและนำไปเทียบกับมุมของตัวสัญญาณเดิมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแปลงมาในทางแกนเวลานั้นหมายความว่าสัญญาณเดิมนี้อยู่ยังมีมุมของสัญญาณอยู่ค่าๆหนึ่งและสัญญาณเออร์เลอร์ก็ได้มีมุมค่าๆหนึ่งเช่นกัน แต่ว่าสัญญาณมุมของสัญญาณใหม่นี้จะมีขนาดและมุมตรงกันข้ามกับสัญญาณโอเอฟดีเอ็มเดิม เพื่อให้ค่าเฟอเฟออาร์ของสัญญาณโอเอฟดีเอ็มนี้ลดลง เมื่อรวมกันทั้งสองสัญญาณนี้จะทำให้เกิดการหักล้างและเสริมกันของสัญญาณ ณ.เวลาใดๆ ส่งผลให้ค่าเฟอเฟออาร์ของสัญญาณรวมมีค่าลดลง ค่ามุมที่แตกต่างที่ได้นี้จะนำมาเป็นสัมประสิทธิ์มุมไว้ใช้คูณเข้ากับสัญญาณอีกรอบหนึ่งของทุกๆสัญญาณในหนึ่งเฟรมข้อมูล จากด้วยบรรทัดฐานของแนวคิดนี้มาใช้กับการส่งข้อมูลในแต่ละเฟรมจึงจะมีการจำลองการทำงานในลำดับต่อไป

4.4.3 การคูณค่าสัมประสิทธิ์มุมให้กับสัญญาณเพื่อปรับค่าเฟอเฟออาร์

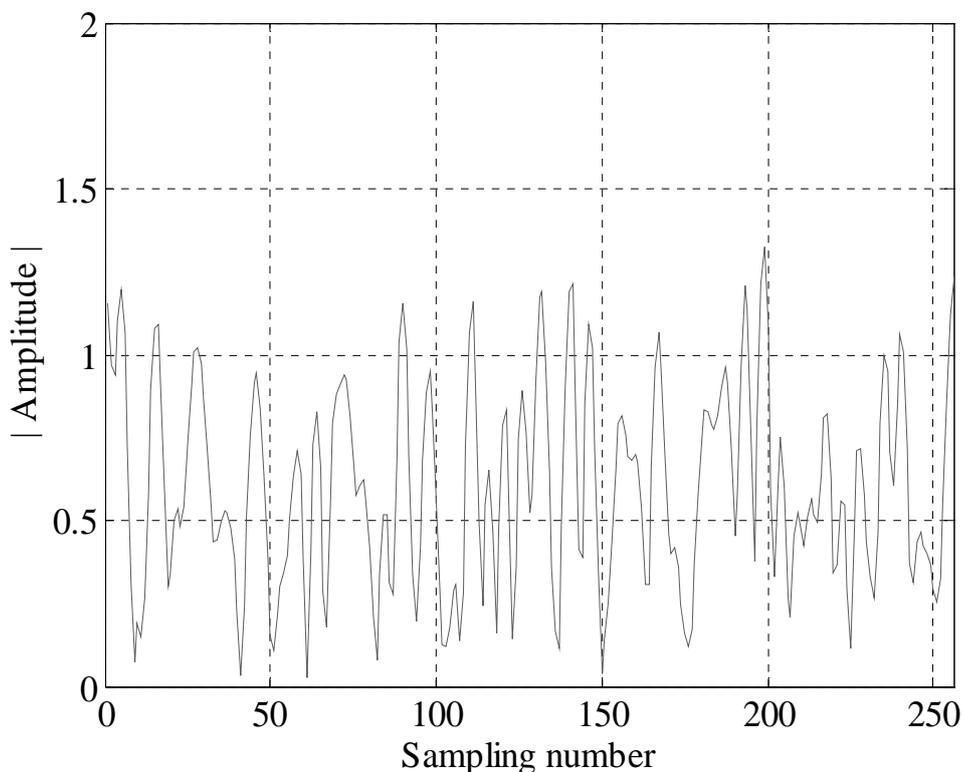
เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์มุมที่หาได้จากสัญญาณทางแกนเวลาและแปลงกลับมาทางแกนความถี่นำมาเทียบมุมกับตัวสัญญาณเดิมของข้อมูลทั้งเฟรมทางความถี่แล้ว จะได้สัมประสิทธิ์มุมที่เราจะนำมาใช้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งเพื่อใช้ในการคูณกับตัวสัญญาณและหาค่าเฟอเฟออาร์ทั้งเฟรมข้อมูลนี้ว่าให้ค่า

พีเอพ็อร์ที่ลดลงหรือไม่ โดยในการกำหนดจำนวนรอบของการวนซ้ำเพื่อลดค่าพีเอพ็อร์นี้จะกำหนดสองเงื่อนไขด้วยกันคือ หนึ่งคือการตั้งค่า Threshold PAPR และสองคือ การกำหนดการวนซ้ำเพื่อหาค่าพีเอพ็อร์ ซึ่งระบบจะทำงานตามเงื่อนไขของทั้งสองเงื่อนไข ถ้าตรงตามเงื่อนไขใดก่อนก็จะหยุดการวนซ้ำ

กระบวนการจนเข้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งจึงจบกระบวนการวนหาค่าของกระบวนการแปลงสัญญาณสลับทางแกนเวลาและความถี่และคูณกับสัมประสิทธิ์มมเพื่อหาค่าพีเอพ็อร์นี้ ซึ่งในเบื้องต้นของการจำลองการทำงานจะเริ่มที่ข้อมูลหนึ่งเฟรมก่อนดังแสดงดังรูป



(ก) สัญญาณ ไอเอฟดีเอ็มก่อนคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในแกนเวลา

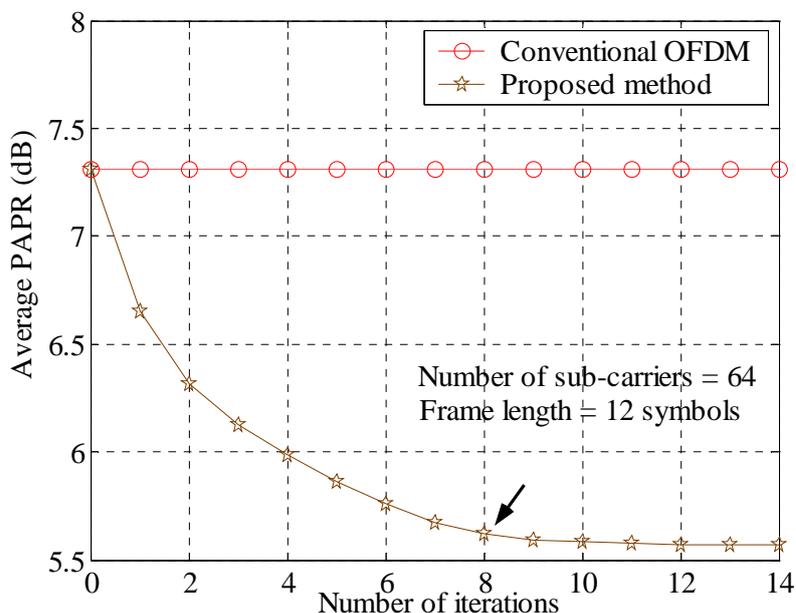


(ข) สัญญาณ โอเอฟดีเอ็มหลังคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในแกนเวลา

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มก่อนและหลังกระบวนการลดค่าพีเอพ็อร์แบบที่นำเสนอ

จากรูปที่ 4.6(ก) จะเป็นตัวอย่างสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มทางจำนวนหนึ่งสัญลักษณ์ในแกนเวลาที่ ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการลดค่าพีเอพ็อร์แบบที่นำเสนอจะเห็นได้ว่าสัญญาณในแกนเวลามีการแกว่งไกวสูง หลังจากคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเพื่อลดค่าพีเอพ็อร์และคูณค่าสัมประสิทธิ์นี้กับสัญลักษณ์ข้อมูล (Data symbols) จำนวนหนึ่งสัญลักษณ์ จะเห็นได้ว่าการแกว่งไกวของสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มในแกนเวลามีการแกว่งไกวที่น้อยลงหรือกล่าวได้ว่าสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มมีค่าพีเอพ็อร์ลดลง ดังจะสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.6(ข) จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าค่าพีเอพ็อร์ลดลงมากกว่ารูปที่ 4.6(ก) เป็นผลการทดลองที่สนับสนุนยิ่งขึ้นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการลดค่าพีเอพ็อร์ด้วยการคูณสัมประสิทธิ์ให้กับสัญญาณ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้เมื่อนำเทคนิควิธีนี้ไปใช้กับระบบการส่งผ่านสัญญาณจะทำให้ประสิทธิภาพการลดค่าพีเอพ็อร์กับระบบดีขึ้นดังจะมีการทดลองเพื่อสนับสนุนต่อไป

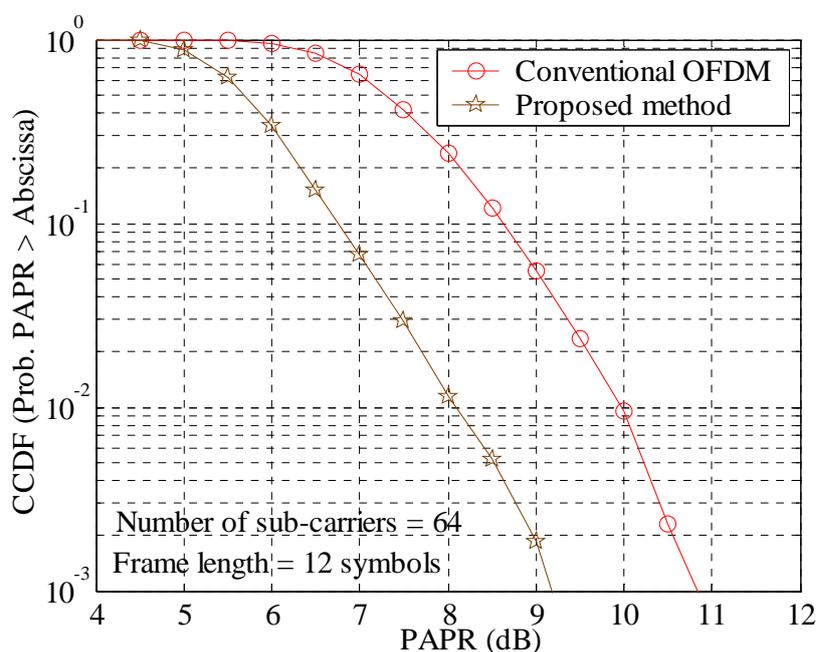
จากผลลัพธ์การจำลองการทำงานจะเห็นได้ว่าด้วยเทคนิคการสร้างสัมประสิทธิ์เพื่อใช้เป็นตัวปรับเฟสนั้นจะช่วยลดค่าพีเอพ็อร์



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพพีเอพอาร์เทียบกับจำนวนรอบการวนซ้ำ

รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของค่าพีเอพอาร์ทั้งวิธี โอเอฟดีเอ็มแบบพื้นฐานเทียบกับวิธีแบบที่เสนอเปรียบเทียบจำนวนรอบการวนซ้ำ โดยแต่ละเฟรมของข้อมูลเท่ากับ 12 สัญลักษณ์ ใน 12 สัญลักษณ์จะประกอบด้วยปริมาตร 2 สัญลักษณ์และสัญลักษณ์ข้อมูล 10 สัญลักษณ์ ผลลัพธ์ของการจำลองการทำงานสังเกตได้ว่าจะให้ค่าพีเอพอาร์ที่ดีกว่าแบบ โอเอฟดีเอ็มพื้นฐานที่ไม่ได้มีกระบวนการลดค่าพีเอพอาร์เท่ากับ 1.4 dB จากรูปกราฟจะเห็นได้ว่าจำนวนการวนซ้ำประมาณ 8 รอบจะเพียงพอสำหรับการวนซ้ำ เนื่องจากค่าพีเอพอาร์จะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนรอบการคำนวณเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการจำลองการทำงานทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้จำนวนรอบการวนซ้ำสูงสุดเท่ากับ 8 รอบ โดยไม่มีการกำหนดค่า Threshold PAPR เนื่องจากในการจำลองการทำงานต้องการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงสุดของวิธีการที่นำเสนอ

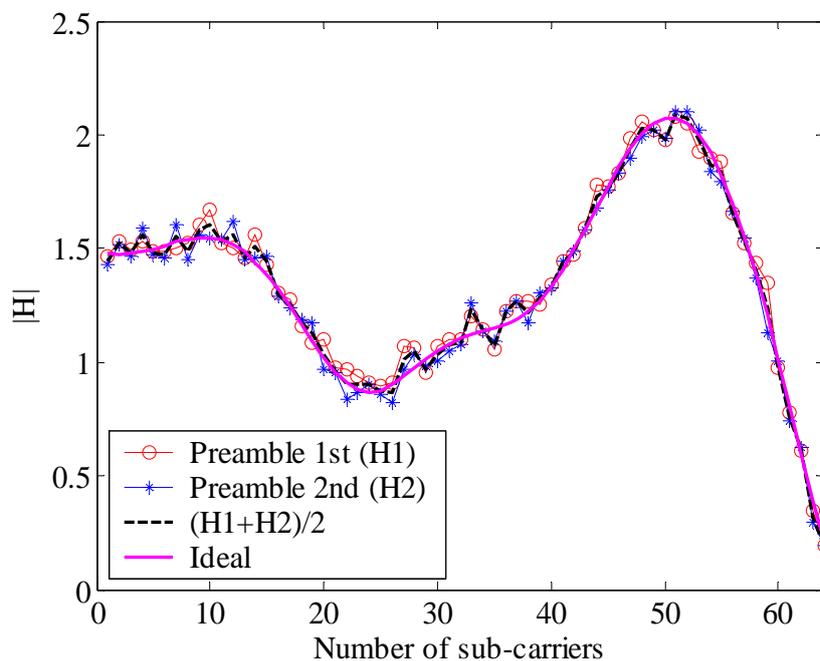
รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าพีเอพอาร์ด้วยวิธีการคูณสัมประสิทธิ์มูมเปรียบเทียบ กับสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มเดิมที่ไม่มีกระบวนการลดค่าพีเอพอาร์ เมื่อใช้ขนาดของเฟรมเท่ากับ 12 เฟรม และการแสดงค่าประสิทธิภาพโดยใช้การวัดค่าพีเอพอาร์แบบ CCDF และจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานสังเกตได้ว่าวิธีการที่เสนอคือการคูณด้วยสัมประสิทธิ์มูมที่สร้างขึ้นจากตัวสัญญาณในแต่ละสัญลักษณ์แต่ละเฟรมของข้อมูลเองนั้นให้ประสิทธิภาพการลดค่าพีเอพอาร์ได้ดีกว่า โอเอฟดีเอ็มแบบพื้นฐาน 1.9 dB ที่ 10^{-1} หมายเหตุเนื่องค่าพีเอพอาร์อยู่ในรูปของค่าความน่าจะเป็นดังนั้นการวัดพีเอพอาร์แบบ CCDF ส่วนที่มีผลกระทบโดยตรงอย่างมากต่ออัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลอยู่ที่บริเวณ 10^{-1} หรือน้อยกว่า



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพค่าพีเออาร์ของวิธีการที่เสนอ

4.5 การวัดประสิทธิภาพอัตราความผิดพลาดของระบบ

ในการค่าประสิทธิภาพของอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลนั้นจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างบิตข้อมูลต้นทางกับบิตข้อมูลปลายทาง เมื่อสัญญาณนั้นส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนแบบต่างๆเข้ามา ในการทดลองนี้กำหนดให้สัญญาณเดิมทางผ่านช่องสัญญาณแบบมัลติพาล ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆในการกำหนดคุณสมบัติของช่องสัญญาณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ส่วนที่สำคัญในการชดเชยการแทรกสอดที่เกิดจากช่องสัญญาณแบบมัลติพาล คือวงจรปรับเท่าของสัญญาณประสิทธิภาพของวงจรนี้จะขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำในการประมาณช่องสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ฟรีแอมป์จำนวน สอง สัญลักษณ์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประมาณช่องสัญญาณ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 จากรูปแสดงให้เห็นชัดว่าค่าเฉลี่ยของการประมาณช่องสัญญาณจากการใช้ฟรีแอมป์สองสัญลักษณ์ให้ความแม่นยำกว่า โดยจะเห็นว่าใกล้เคียงกับช่องสัญญาณทางอุดมคติมากที่สุดเพื่อ เปรียบเทียบทั้งช่องสัญญาณที่ได้จากการประมาณช่องสัญญาณทั้งฟรีแอมป์แรกและฟรีแอมป์ที่สองตามลำดับ

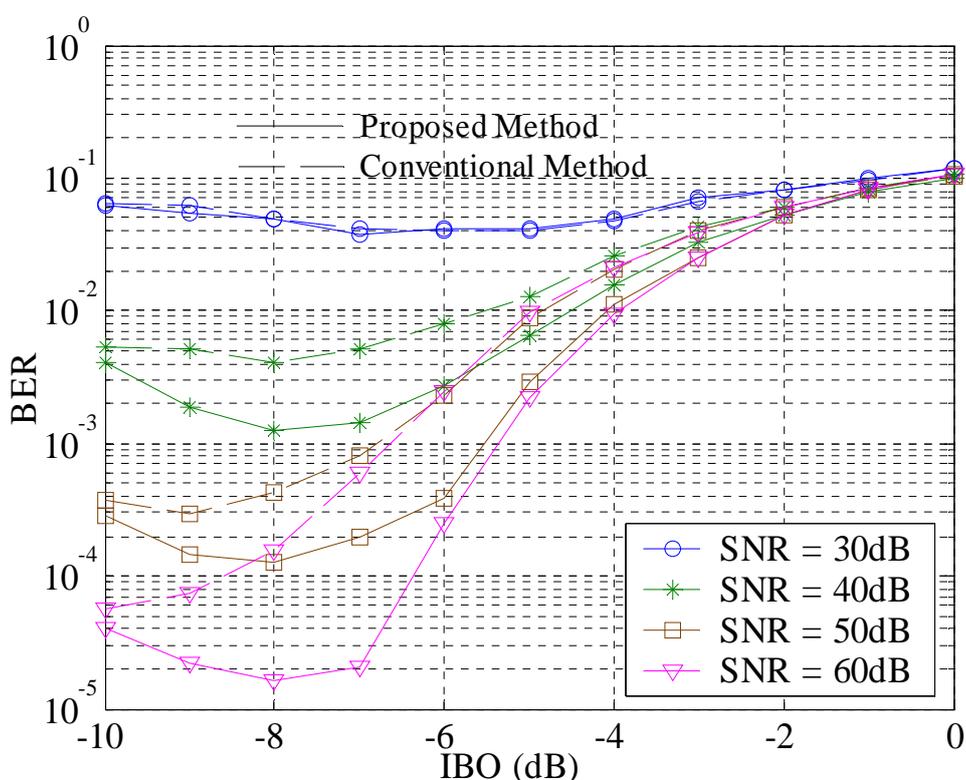


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบช่องสัญญาณการประมาณช่องสัญญาณกับช่องสัญญาณในอุดมคติ

การวัดประสิทธิภาพของอัตราความผิดพลาดข้อมูล เป็นการชี้วัดว่าระบบให้ประสิทธิภาพดีเพียงใด ซึ่งเป็นการสรุปผลลัพธ์ทั้งหมดของระบบว่าดีเพียงไร ในการค่าประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอนี้จะเปรียบเทียบวิธีการแบบทั่วไป โดยที่เงื่อนไขต่างๆจะเหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงวิธีการที่นำเสนอจะมีส่วนที่ลดค่าพีเอพื่ออาร์ทางด้านเครื่องส่งเท่านั้นที่แตกต่าง โดยใช้สภาวะช่องสัญญาณแบบมีการจางหายแบบหลายแบบ 16 เส้นทาง

จากรูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดข้อมูลในช่องสัญญาณมัลติพาทเมื่อแปรค่า IBO (dB) ระหว่างวิธีการ โอเอฟดีเอ็มแบบเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างสัมประสิทธิ์มูซึ่งเป็นการที่วิทยานิพนธ์นี้เสนอ ในการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนจุดการทำงานของวงจรถายนั้น กำหนดให้เมื่อจุดการทำงานของวงจรถายต่ำลง คืออยู่ห่างจากจุดการทำงานอิมตัวของวงจรถายหรือค่า IBO มีค่าติดลบมากๆ จะส่งผลให้สัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรถายมีค่าน้อยลง ในขณะที่เดียวกันก็กำลังของสัญญาณที่ส่งออกไปก็จะมีค่าลดลงตามจุดทำงานไปด้วย จะส่งผลให้ค่า SNR มีค่าต่ำและอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นเป็นสัดส่วนผกผันกัน ในทางกลับกันหากกำหนดจุดการทำงานของวงจรถายเข้าใกล้จุดอิมตัวมากขึ้น ก็จะส่งผลให้สัญญาณมีกำลังส่งแรงแต่ที่สัญญาณรบกวนที่เกิดการคลิบของสัญญาณที่มาจากวงจรถายส่งผลให้ค่า SNR มีค่าต่ำด้วยเช่นกัน ดังนั้น จุดการทำงานของวงจรถายจึงจำเป็นต้องกำหนดให้เหมาะสมด้วยเช่นกัน

ผลจากการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างสัญญาณ โอเอฟดีเอ็มเมื่อผ่านช่องสัญญาณแบบมัลติพาทและวงจรรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้นพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงประสิทธิภาพอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลได้ดีกว่า ในขณะที่เดียวกันก็มีจุดการทำงานที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบทั่วไป จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรรขยายและยังสามารถกำหนดจุดการทำงานของวงจรรขยายได้สูงกว่าวิธีการแบบทั่วๆ หมายความว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้ประสิทธิภาพของวงจรรขยายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



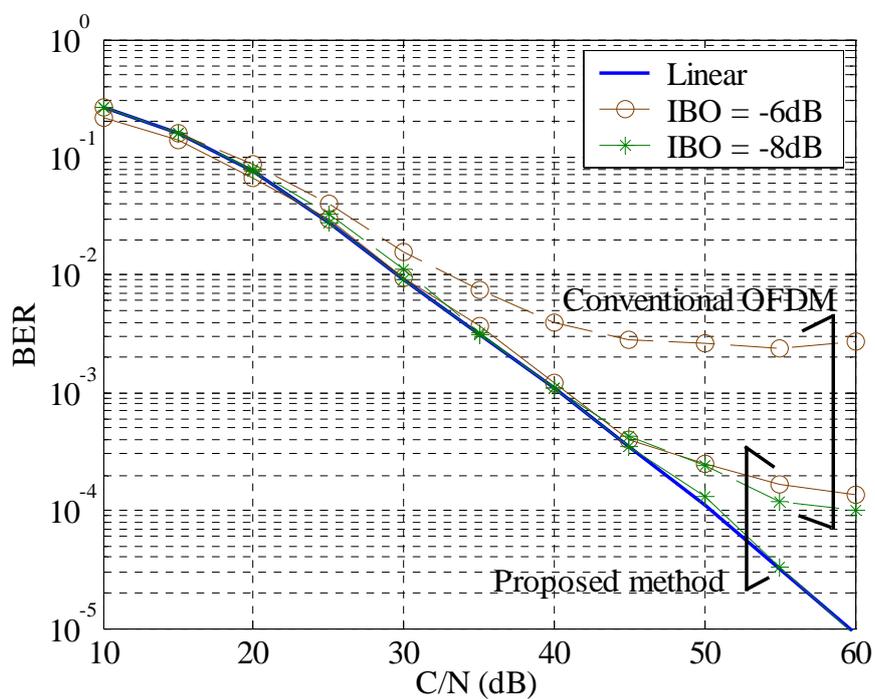
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดข้อมูลในช่องสัญญาณมัลติพาทเมื่อแปรค่า IBO (dB)

จากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดข้อมูลในช่องสัญญาณมัลติพาทเมื่อแปรค่า C/N (dB) ระหว่างวิธีการ โอเอฟดีเอ็มแบบเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างสั้มประสิทธิภาพซึ่ง เป็นวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้เสนอ ในรูปนี้กำหนดให้ค่า Input Back Off (IBO) ของเครื่องขยายสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยในการจำลองการทำงานนี้กำหนดจุดการทำงานของวงจรรขยายเท่ากับ -6 dB และ -8 dB ตามลำดับ จากผลการจำลองการทำงานจะสังเกตเห็นได้ว่าวิธีการที่เสนอให้ค่าอัตราความผิดพลาดต่ออัตราข้อมูลที่ต่ำกว่าวิธีการ โอเอฟดีเอ็มแบบมาตรฐานในสถานะช่องสัญญาณการจางหายแบบ 16 เส้นทางและอุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น

$$BER = \text{จำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดที่ผิดพลาด} / \text{จำนวนของบิตข้อมูลทั้งหมด} \quad (4.6)$$

$$C/N = \text{กำลังงานของสัญญาณไอเอฟดีเอ็ม} / \text{กำลังงานของสัญญาณรบกวน} \quad (4.7)$$

จากผลการจำลองการทำงานสังเกตได้ว่าค่า C/N ของวิธีที่เสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเทคนิคของ ไอเอฟดีเอ็มแบบเดิม



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดข้อมูลในช่องสัญญาณมัลติพาทเมื่อแปรค่า C/N (dB)