

บทที่ 4

การจำลองบนคอมพิวเตอร์

4.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลที่น่ามาใช้ทำการจำลองบนคอมพิวเตอร์ ได้มาจากการนำรูปร่างของสัญญาณทางการทหารมา กำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้เป็นสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ในลักษณะที่แตกต่างกัน แล้วนำมาทำการ ประเมินค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สำหรับใช้เป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับการประเมินค่าทิศ ทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณไซนูซอยด์ ด้วยการเขียนโปรแกรมจำลองผลการทดสอบเพื่อให้ได้ค่ามุมทิศ ที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบ และแสดงได้ว่าวิธีการที่น่ามาใช้สามารถจะประเมินค่าทิศทางการมาถึงของแหล่ง กำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ได้ โดยทำการจำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม MATLAB VERSION 4.2c.1 FOR WINDOWS ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium CPU 200 MHz

การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเพื่อประเมินค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดของสัญญาณ พัลส์ไซนูซอยด์นั้น เริ่มจากการนำรูปของสัญญาณทางการทหารที่ได้จากการทดสอบยิงปืนใหญ่ 155 มิลลิเมตร จากการปฏิบัติงานในสนามทดสอบ ดังรูปที่ 3.1 ข้อมูลของรูปสัญญาณได้รับมาจาก กองวิจัยและพัฒนาการลือ สารและอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด มาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะ ของสัญญาณ ด้วยการกำหนดให้รูปของสัญญาณมีคุณลักษณะเหมือนกับ สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ จากนั้นทำ การตั้งสมมติฐาน ในการสร้างแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ขึ้นในลักษณะต่างๆ แล้วจึงเขียนโปรแกรม กำหนดค่าเพื่อทดสอบแบบจำลองให้รูปของสัญญาณมีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการประเมิน ค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณต่อไป

4.2 การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์และกรณีที่ใช้ทดสอบ

การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ มีจุดประสงค์ที่ต้องการให้เครื่องคอมพิวเตอร์แสดงค่าความคลาด เคลื่อนที่เกิดขึ้น ในการประเมินค่าทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณในทั้ง 2 รูปแบบ ตลอดจนเป็นการ ทดสอบ เปรียบเทียบ กับวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการประเมินค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดย จะต้องพยายามพิจารณาถึงคุณลักษณะจำเพาะของ แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source) ทั้งในรูปแบบของ แหล่ง

กำเนิดสัญญาณไซน์ซอยด์ (Sinusoid Signal Source) และ แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ซอยด์ (Pulse Sinusoid Signal Source) ทั้ง 2 ลักษณะ

นอกจากนั้นต้องพิจารณาเรื่องของ ทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ (Direction of Arrival: DOA) ที่เกิดขึ้น เมื่อสัญญาณแพร่กระจายผ่านสายอากาศด้วยมุมทิศทางที่แตกต่างกัน จำนวนสายอากาศที่นำมาใช้ใน ตัวหาทิศทาง (Direction Finder: DF) และในส่วนของสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้น ได้กำหนดให้เกิดขึ้นที่สายอากาศแต่ละตัวในระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณ เพื่อให้ผลที่ได้รับมาจากการสร้างแบบจำลองนั้น มีความน่าเชื่อถือได้เหมือนกับการทดสอบด้วยเครื่องมือจริงๆ และแสดงผลออกมาเป็นองศา เกณฑ์มาตรฐานสำหรับนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะกำหนดให้ค่ามุมทิศทางที่คำนวณได้มานั้นจะยอมให้เกิดความผิดพลาดได้ไม่ควรเกิน 1 องศา สามารถที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณ ดังนั้นในการกำหนดรูปแบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้น สามารถแบ่งได้ตามจุดประสงค์ของการศึกษาเปรียบเทียบได้ 6 ลักษณะดังนี้

- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อทำการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยแบบจำลองสัญญาณที่แตกต่างกัน
- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อทำการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีที่แตกต่างกัน
- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบ เมื่อทำการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยมุมทิศทางที่แตกต่างกัน
- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบในการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยจำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน
- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบ ในการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนปะปนเข้าในระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณ
- เพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบตามคุณลักษณะของสัญญาณ โดยพิจารณาเปรียบเทียบ ในการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกัน

4.2.1 กรณีของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์ จะต้องทำการทดสอบให้ครอบคลุมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นลักษณะต่าง ๆ ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบชนิดของสัญญาณที่นำมาใช้งาน แล้วนำมาเขียนโปรแกรมทดสอบแบบจำลองของสัญญาณให้อยู่ในรูปของ $y_m(t) = x(t + \tau_m(\theta)) + n_m(t)$ โดยที่กำหนดให้แบบจำลองของสัญญาณ มีลักษณะที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

- แบบจำลองสัญญาณไซน์ซออยด์ (Sinusoid Signal Model) ได้มาจากสมการที่ (2.6) ในบทที่ 2
- แบบจำลองสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ ลักษณะที่ 1 (Pulse Sinusoid Signal Model 1) ได้มาจากสมการที่ (3.3) ในบทที่ 3
- แบบจำลองสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ ลักษณะที่ 2 (Pulse Sinusoid Signal Model 2) ได้มาจากสมการที่ (3.7) ในบทที่ 3

ค่าอินพุตของสัญญาณที่นำไปใช้งาน จะนำมาจากผลการทดสอบแบบจำลองของสัญญาณใน ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ในหัวข้อที่ 3.3 บทที่ 3 และจะทำการวัดค่าที่เกิดขึ้นจากสายอากาศด้วยการชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกันจำนวน 100 snapshot

4.2.2 วิธีการที่นำไปใช้ในการทดสอบ

เมื่อสร้างโปรแกรมที่ทดสอบแบบจำลองของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดสัญญาณในลักษณะต่าง ๆ แล้วและกำหนดค่าอินพุตของสัญญาณที่นำไปใช้งานแล้ว ต่อมาจะเป็นการสร้างโปรแกรมการประมาณค่าทิศทางของสัญญาณ ในส่วนของวิธีการที่นำมาจำลองบนคอมพิวเตอร์ทั้งหมดนั้น ประกอบด้วย

- วิธีบีมฟอร์มเมอร์ (Beamformer Method)
- วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น (Linear Prediction Method)
 - Levinson Algorithm
 - Burg Algorithm
- วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transform Method)

สำหรับวิธีการต่างๆที่นำมาจำลองบนคอมพิวเตอร์นั้น จะนำมาทดสอบใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่กำหนดขึ้นในหัวข้อ 4.2.1

4.2.3 ค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

ในทางปฏิบัติจริงแล้วเป็นไปได้ยากที่สัญญาณที่วัดได้จะไม่มีข้อผิดพลาดเลย ดังนั้นสัญญาณที่นำมาทดสอบจึงต้องมีค่าของสัญญาณที่รบกวนปะปนเข้ามาด้วย ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในระบบการหาทิศโดยจะกำหนดให้สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศแต่ละตัวจะนำมาเขียนโปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมเป็นตัวสร้าง (Generate) สัญญาณรบกวนขึ้นมา ในลักษณะแบบสุ่ม (Random Process) และกำหนดลักษณะการกระจายให้มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) หาได้จาก ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to Noise Ratio :SNR) [4] หาได้จากสมการ

$$SNR = 10 \log_{10} (1/\sigma_n^2)$$

โดยที่ SNR คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to Noise Ratio :SNR) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

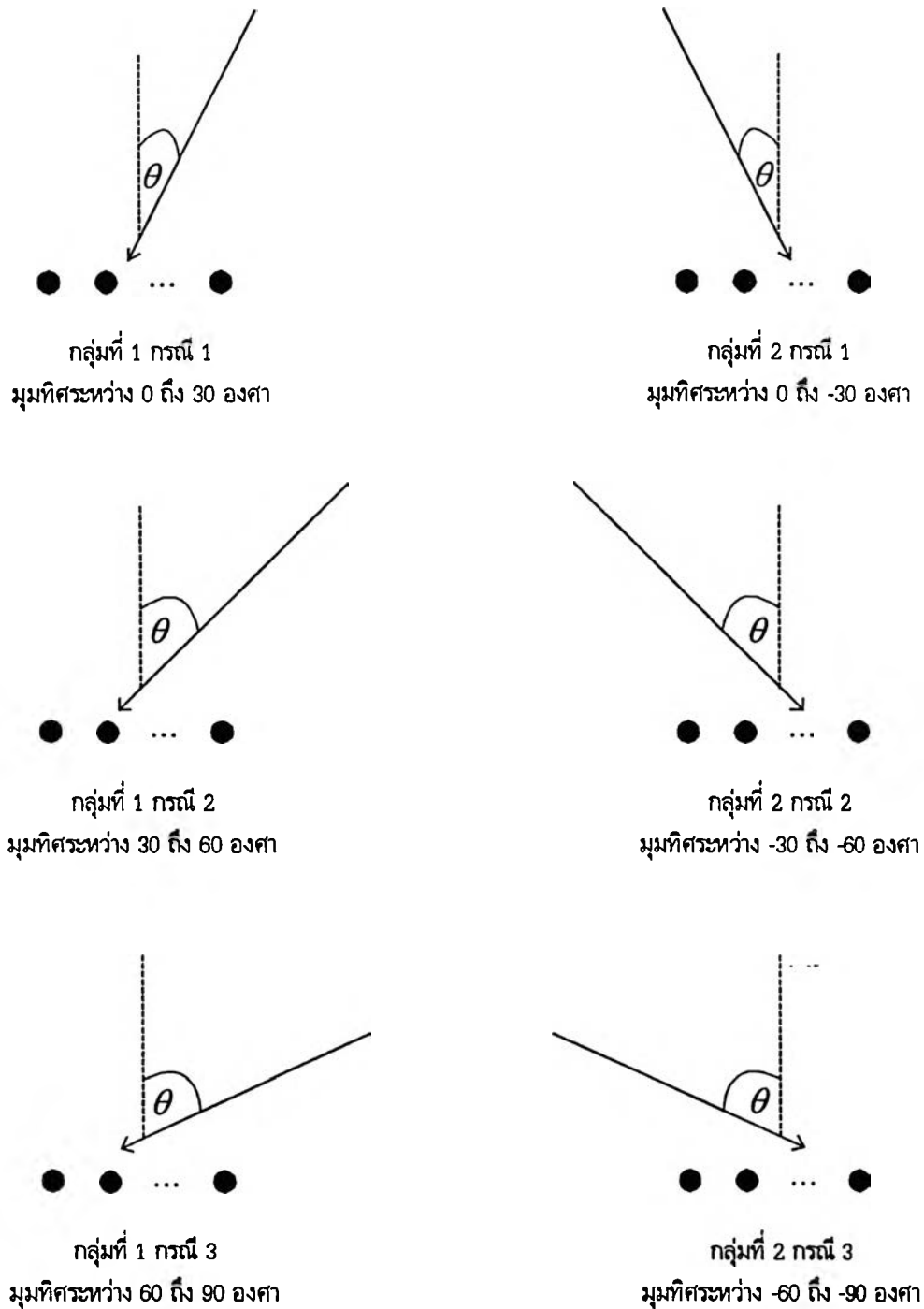
σ_n^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกำลังของสัญญาณรบกวน

4.2.4 กรณีที่นำไปใช้ทดสอบประมาณค่ามุมทิศ

ปัญหาการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณแพร่กระจายผ่านสายอากาศในทิศทางที่แตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติแล้วระบบเครื่องหาทิศจะต้องตั้งหันหน้าเข้าหาแหล่งกำเนิดสัญญาณ ดังนั้นมุมทิศที่เกิดขึ้น ก็จะพิจารณาให้อยู่ในช่วงระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา แบ่งออกได้ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ปัญหากรณีมุมทิศที่มาจากกระแทกมีค่าเป็นบวก แบ่งเป็น 3 กรณี
 - กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำ มีค่าระหว่าง 0 องศา ถึง 30 องศา
 - กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลาง มีค่าระหว่าง 30 องศา ถึง 60 องศา
 - กรณีที่ 3 มุมทิศสูง มีค่าระหว่าง 60 องศา ถึง 90 องศา
- กลุ่มที่ 2 ปัญหากรณีมุมทิศที่มาจากกระแทกมีค่าเป็นลบ แบ่งเป็น 3 กรณี
 - กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำ มีค่าระหว่าง 0 องศา ถึง -30 องศา
 - กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลาง มีค่าระหว่าง -30 องศา ถึง -60 องศา
 - กรณีที่ 3 มุมทิศสูง มีค่าระหว่าง -60 องศา ถึง -90 องศา

จากกลุ่มปัญหาที่ใช้ในการเปรียบเทียบในแต่ละกรณี สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กรณีที่นำมาใช้ทดสอบเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

4.3 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์

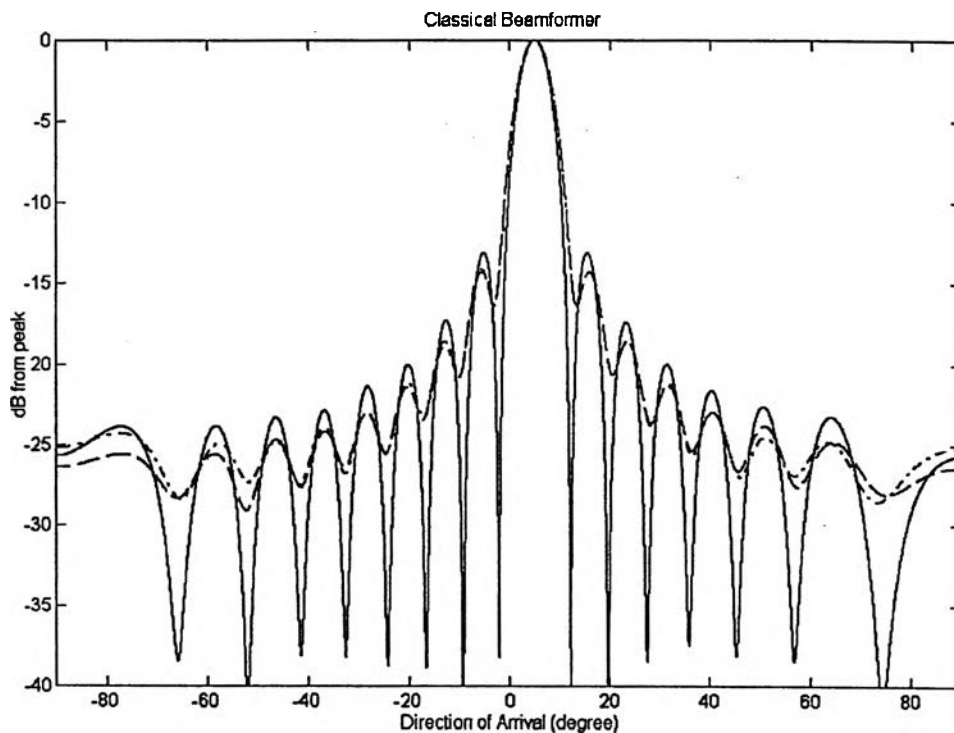
ผลการทดสอบที่ 4.1 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, มีจำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $\text{SNR} = 30$ dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์

รูปที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีบีมฟอร์มเมอร์นำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไชนูซอยด์ และ สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ และ มุมทิศมีค่าปานกลาง $\text{DOA} = 5^\circ, -5^\circ$ และ 35° ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สำหรับค่ามุมทิศที่ได้มาจากผลการทดสอบจะพบว่า ในกรณีที่ เป็นสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ เป็นสัญญาณไชนูซอยด์

สำหรับตารางที่ 4.1a ถึง 4.1f จะเป็นตารางแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบ การหาค่ามุมทิศที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อกำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณมีมุมทิศในกรณีแตกต่างกันออกไป โดยทำการทดสอบที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และ มุมทิศมีค่าสูง ทั้งกรณีที่เป็น บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา จากการทดสอบจะพบว่า วิธีบีมฟอร์มเมอร์นำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะได้ โดยมีค่าความผิดพลาดของมุมทิศใกล้เคียงกับสัญญาณไชนูซอยด์

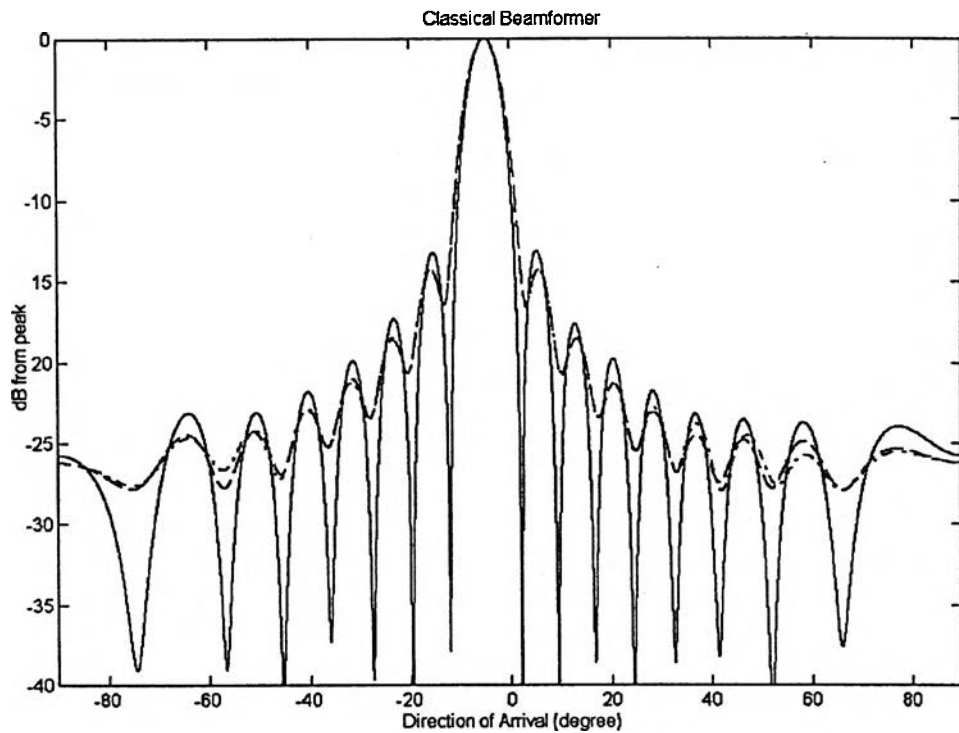
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีบีมฟอร์มเมอร์ กรณีมุมทิศทางที่มีค่าเป็น
บวก $DOA = 5^\circ$



- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไขว้ขอยด์ และ สัญญาณ
ไขว้ขอยด์แบบพัลส์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่ $DOA = 5^\circ$

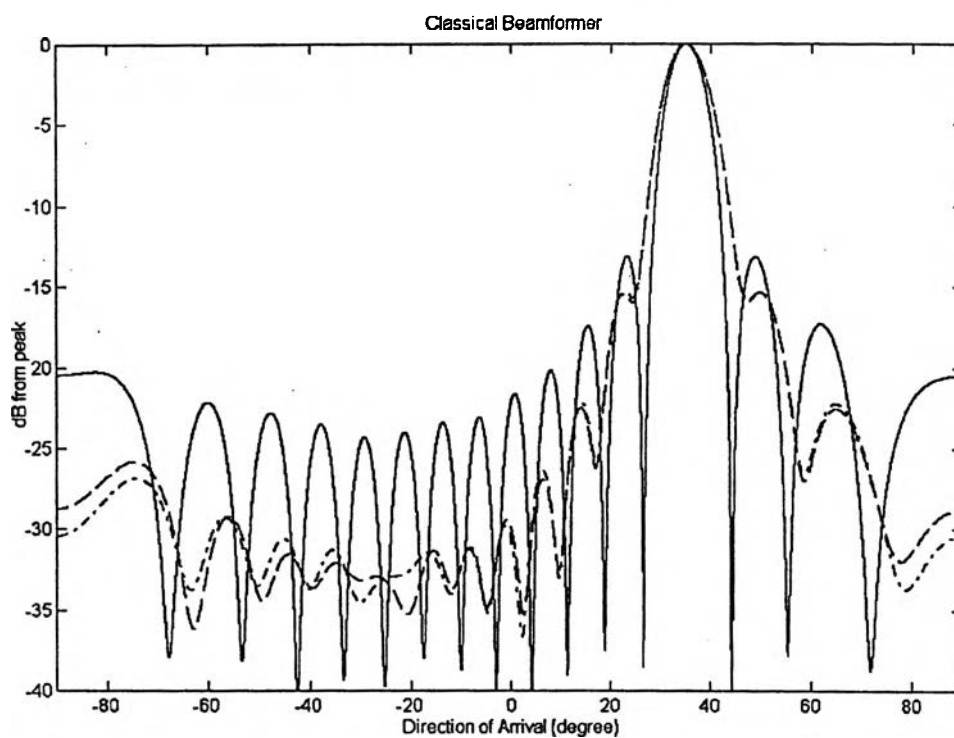
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีบีมฟอร์มเมอร์ กรณีมุมทิศตำมีค่าเป็นลบ $DOA = -5^\circ$



- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- · - · - · สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.3 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณไซนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่ $DOA = -5^\circ$

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีบีมฟอร์มเมอร์ กรณีมุมทิศทางกลางมีค่าเป็นบวก $DOA = 35^\circ$



- สัญญาณไซนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.4 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณไซนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่ $DOA = 35^\circ$

ตารางที่ 4.1a การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1
มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
0	0.0100	0.0100	0.0100
5	4.9900	4.9900	5.0100
10	9.9900	9.9900	10.0100
15	14.9900	14.9800	14.9900
20	20.0100	20.0100	20.0200
25	25.0100	24.9900	25.0200
30	30.0100	29.9700	30.0200

ตารางที่ 4.1b การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2
มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
35	34.9900	35.0100	35.0100
40	39.9900	39.9800	39.9700
45	44.9900	45.0200	44.9800
50	50.0100	49.9900	49.9900
55	55.0200	54.9300	55.0100
60	60.0300	60.0600	59.9900

ตารางที่ 4.1c การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3
มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
65	65.0300	65.1400	65.1600
70	70.0300	69.9900	69.9500
75	74.9700	74.6700	75.2000
80	80.0100	79.8600	79.7900
85	84.9500	84.6500	84.5200
90	90.4200	92.2600	90.4600

ตารางที่ 4.1d การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1
มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-5	-4.9900	-5.0100	-4.9900
-10	-10.0100	-10.0100	-10.0100
-15	-14.9900	-15.0100	-14.9900
-20	-20.0100	-20.0100	-19.9900
-25	-25.0100	-24.9900	-24.9800
-30	-30.0200	-29.9900	-30.0100

ตารางที่ 4.1e การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2
มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-35	-35.0100	-35.0200	-34.9900
-40	-40.0200	-40.0600	-40.0100
-45	-45.0200	-45.0200	-45.0000
-50	-49.9900	-50.0600	-49.9700
-55	-54.9900	-54.9600	-55.0400
-60	-59.9900	-59.9600	-60.1300

ตารางที่ 4.1f การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3
มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-65	-64.9900	-65.0200	-65.0100
-70	-70.0100	-70.0300	-69.8100
-75	-75.0200	-74.9600	-74.6500
-80	-80.0300	-80.2500	-80.2100
-85	-84.9900	-84.7900	-84.8900
-90	-89.4700	-89.6300	-88.3200

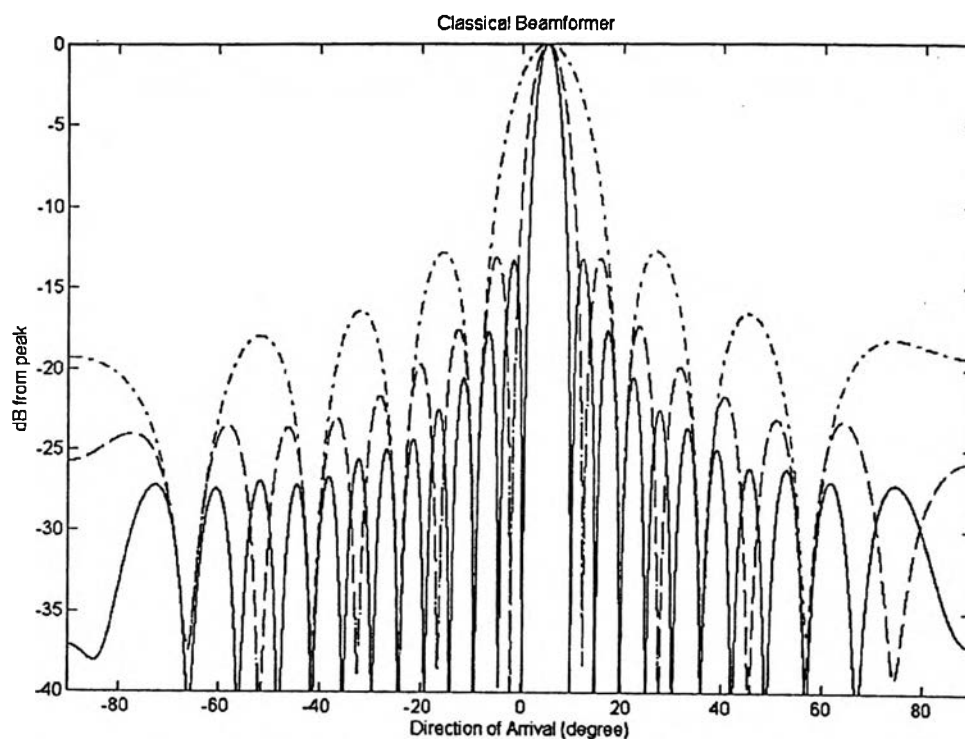
ผลการทดสอบที่ 4.2 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์

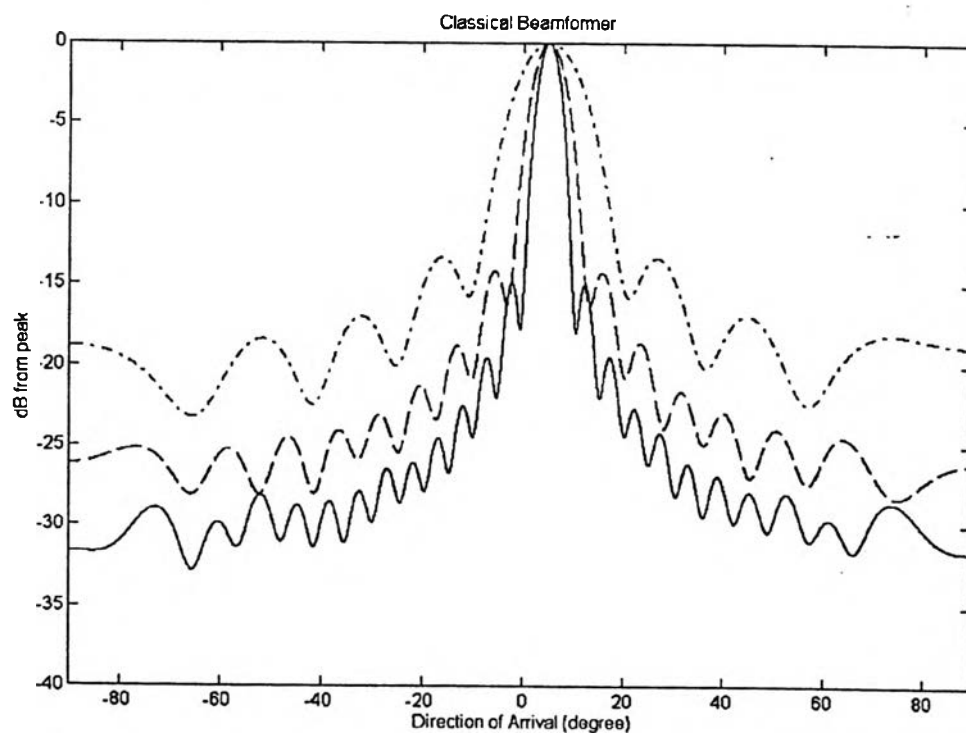
รูปที่ 4.5 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ เมื่อทำการทดสอบกับสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ในการทดสอบออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง กำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.5a กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.5b กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.5c กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่ มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟ จะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีค่าไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี และเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการทดสอบจะพบว่า สำหรับการเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 8$ ชุด สเปกตรัมของสัญญาณของวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์จะมีความละเอียดต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 16$ และ สเปกตรัมของสัญญาณของวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์จะมีความละเอียดที่สุด เมื่อเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 24$ ชุด

รูปที่ 4.6 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้งกรณีที่เป็น บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.6a กรณี $m = 8$, รูปที่ 4.6b กรณี $m = 16$ และ รูปที่ 4.6c กรณี $m = 24$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่ต่างกัน มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ และ มุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีมุมทิศมีค่าสูง สำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไชนูซอยด์

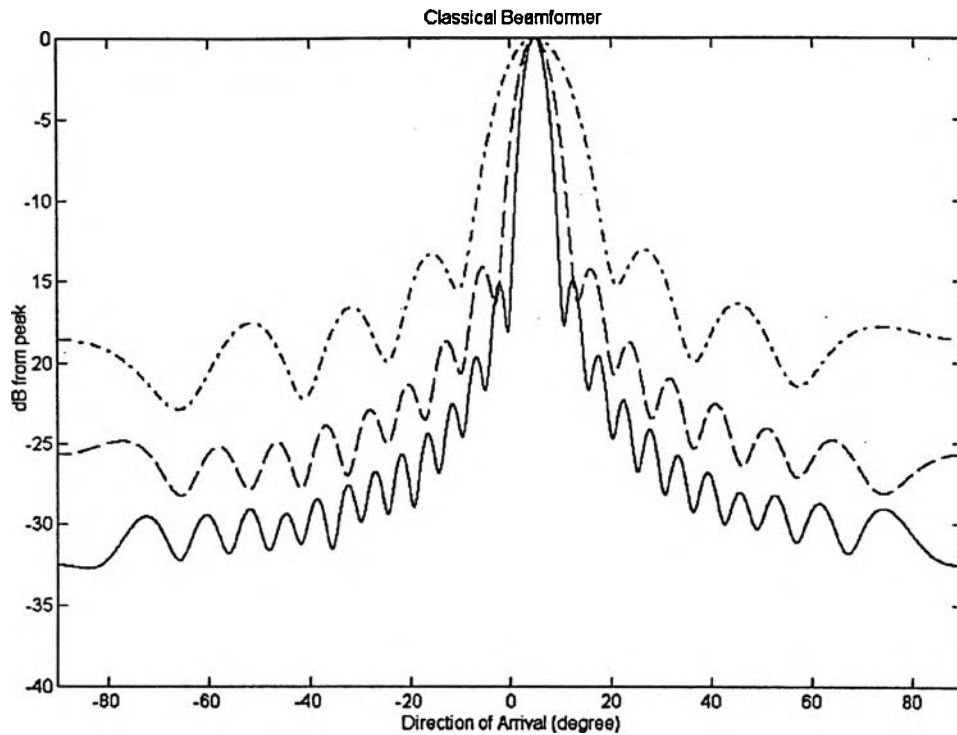
ตัวอย่าง การทดสอบใช้สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด วิธีบีบฟอร์มเมอร์ ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



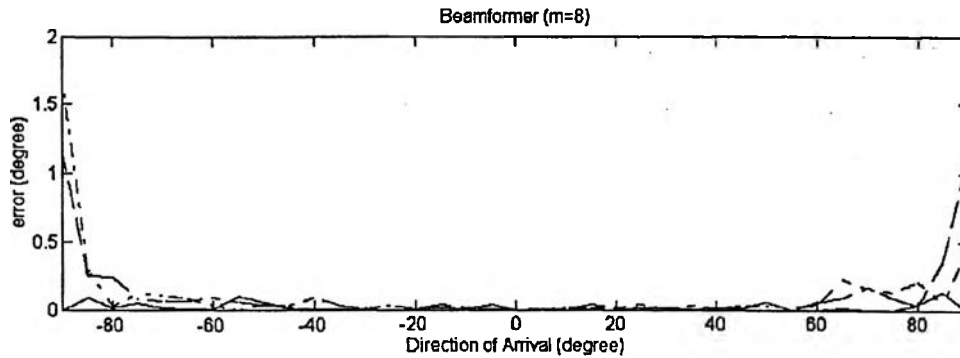
(c)

————— $m = 24$ ชุด
 - - - - - $m = 16$ ชุด
 $m = 8$ ชุด

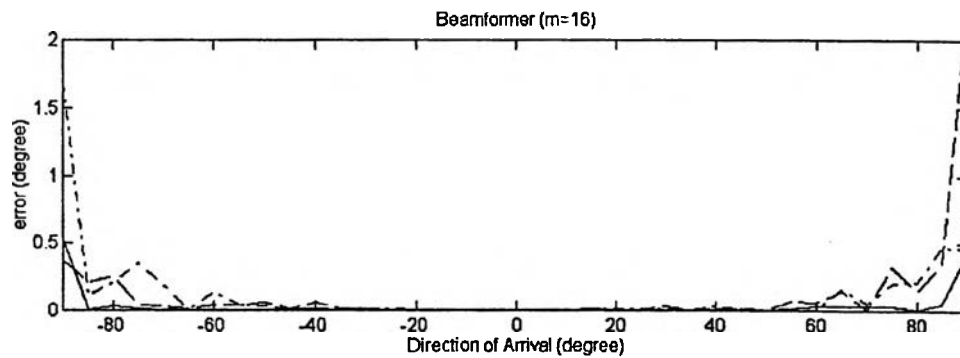
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ
 มีค่า $m = 8, 16$ และ 24 ชุด

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

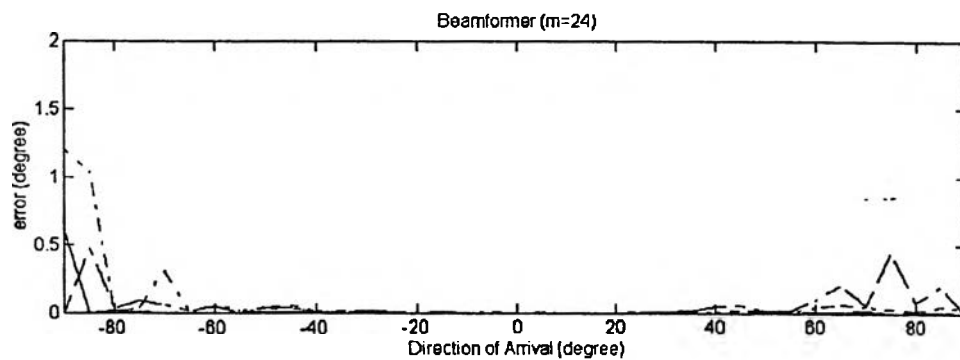
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ
วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- .-.-.-.- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่สายอากาศมีค่า

(a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด

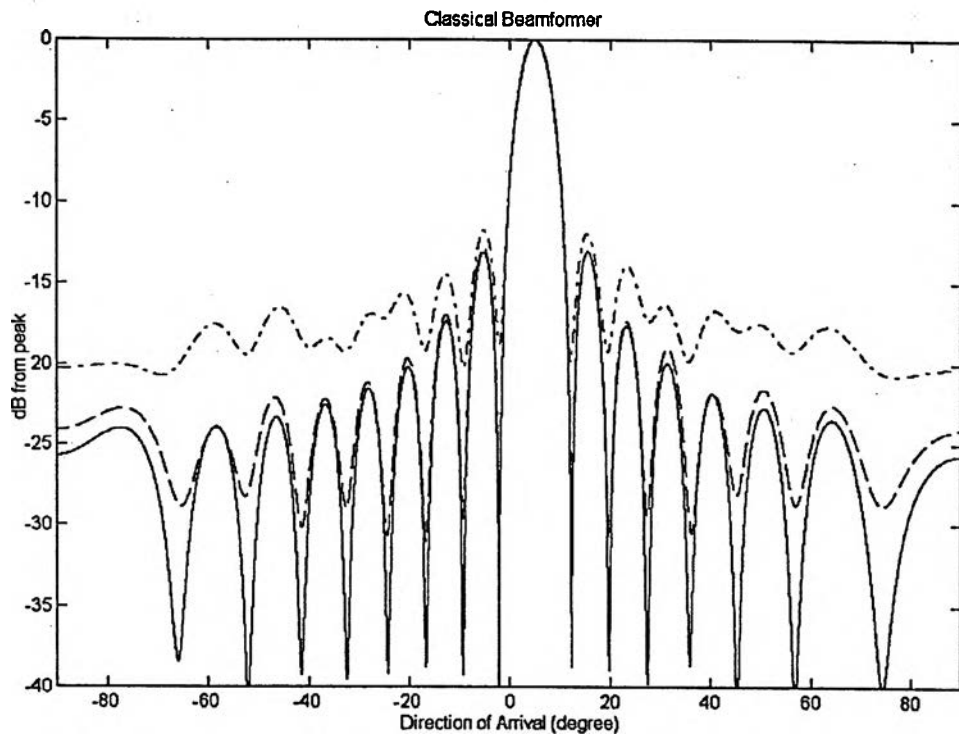
ผลการทดสอบที่ 4.3 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศมีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR = 10, 20 และ 30 dB ตามลำดับ , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์

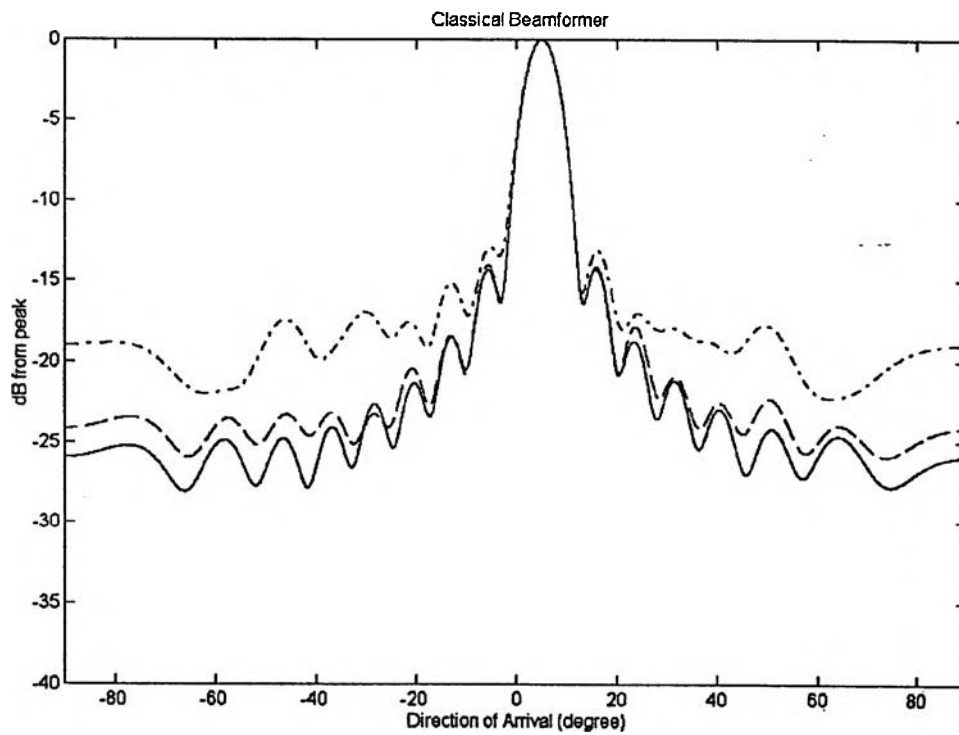
รูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ เมื่อทำการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยกำหนดให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ มีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) กำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.7a กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ , รูปที่ 4.7b กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.7c กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีลักษณะที่ไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี และจากการทดสอบจะพบว่า สำหรับสเปกตรัมของสัญญาณจากวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ถ้ากรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ (10 dB) ในการค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง (20, 30 dB) และ ค่ามุมทิศมีโอกาสจะเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า SNR สูง (30 dB)

รูปที่ 4.8 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้งกรณีที่ เป็นบวกและลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.8a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.8b กรณี SNR = 20 dB และ รูปที่ 4.8c กรณี SNR = 10 dB จากการทดสอบจะพบว่า แหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีที่มุมทิศมีค่าปานกลาง และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศมากที่สุด ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณีที่สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์

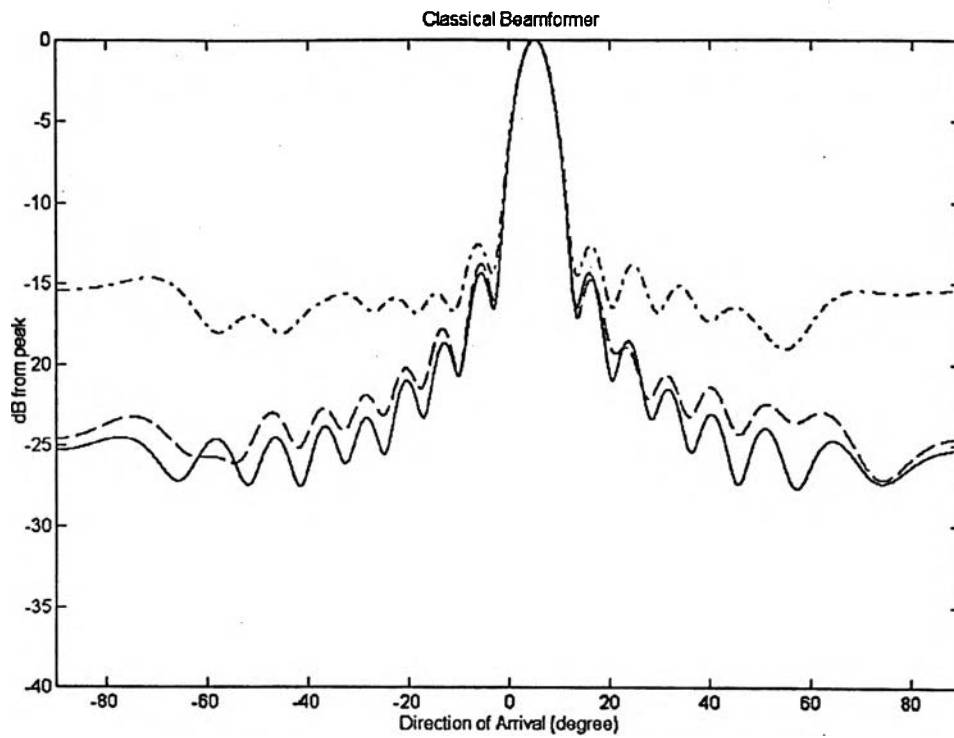
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า
SNR = 10, 20 และ 30 dB ตามลำดับ ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



(c)

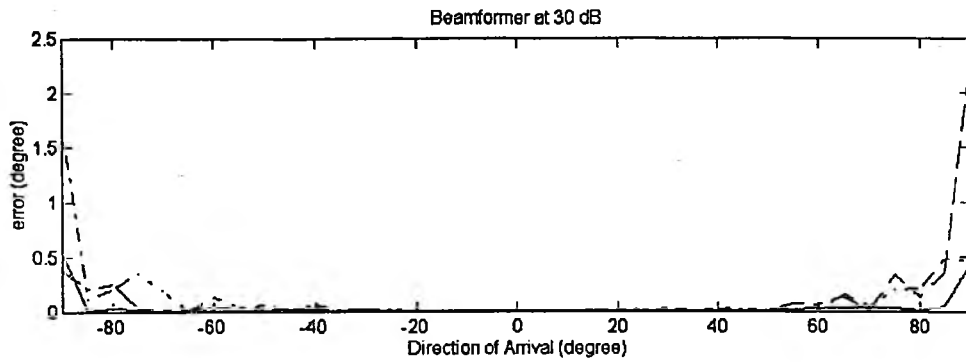
_____ SNR = 30 dB
 - - - - - SNR = 20 dB
 - . - . - SNR = 10 dB

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ สัญญาณรบกวนมี

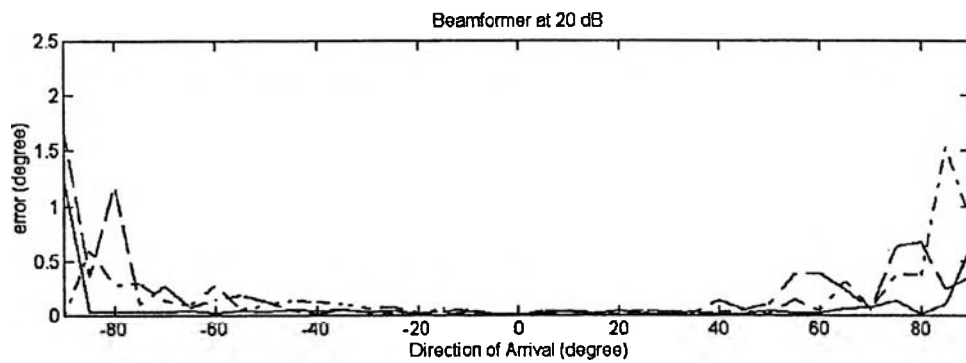
ค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

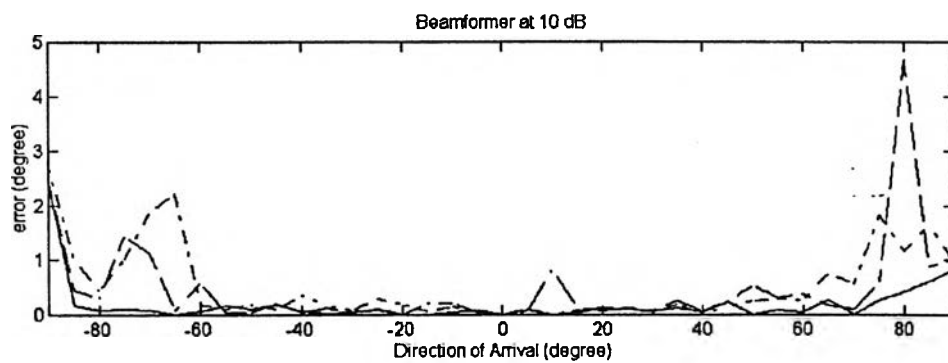
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ
วิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ สัญญาณรบกวนมีค่า

SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

ผลการทดสอบที่ 4.4 กรณีเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าทิศทางของ แหล่งกำเนิดสัญญาณ ไซนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ในสัญญาณช่วงที่ต่างกัน

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 10, 20$ และ 30 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกัน จำนวน $N = 5$ snapshot ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์

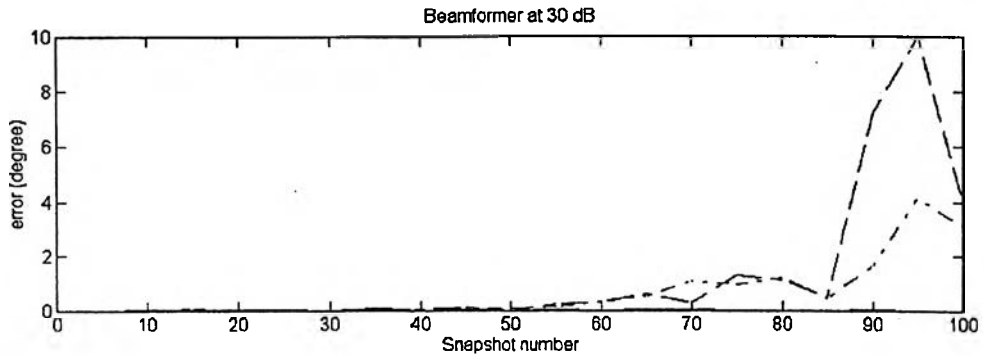
รูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ ในแต่ละช่วงสัญญาณ จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ snapshot ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ และกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ โดยกำหนดให้

- รูปที่ 4.9 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 8$ รูปที่ 4.9a กรณี $SNR = 30$ dB , รูปที่ 4.9b กรณี $SNR = 20$ dB และรูปที่ 4.9c กรณี $SNR = 10$ dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.10 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 16$ รูปที่ 4.10a กรณี $SNR = 30$ dB , รูปที่ 4.10b กรณี $SNR = 20$ dB และรูปที่ 4.10c กรณี $SNR = 10$ dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.11 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 24$ รูปที่ 4.11a กรณี $SNR = 30$ dB , รูปที่ 4.11b กรณี $SNR = 20$ dB และรูปที่ 4.11c กรณี $SNR = 10$ dB ตามลำดับ

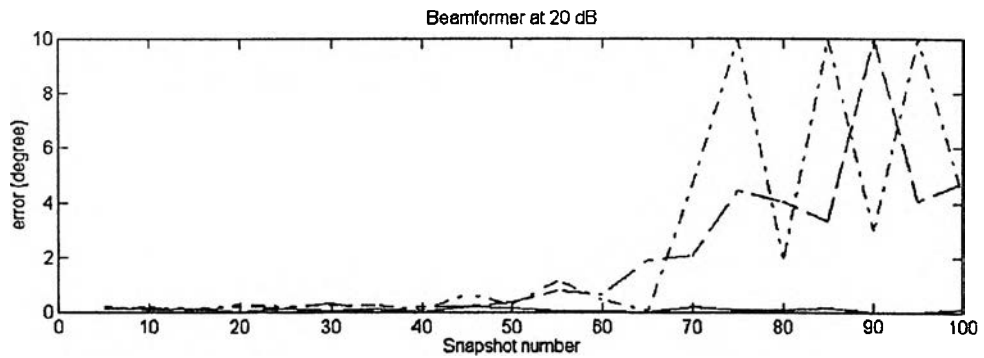
จากการทดสอบจะพบว่า ในกรณีของสัญญาณไซนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในการ snapshot แต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศทางมากกว่า การเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก และ กรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะเกิดความผิดพลาดของมุมทิศทางมากกว่า กรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่าน้อย หรือ ค่า SNR สูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะไม่แตกต่างกัน ในช่วงที่สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์เกิดพัลส์ขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มมากขึ้น ในช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป

ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

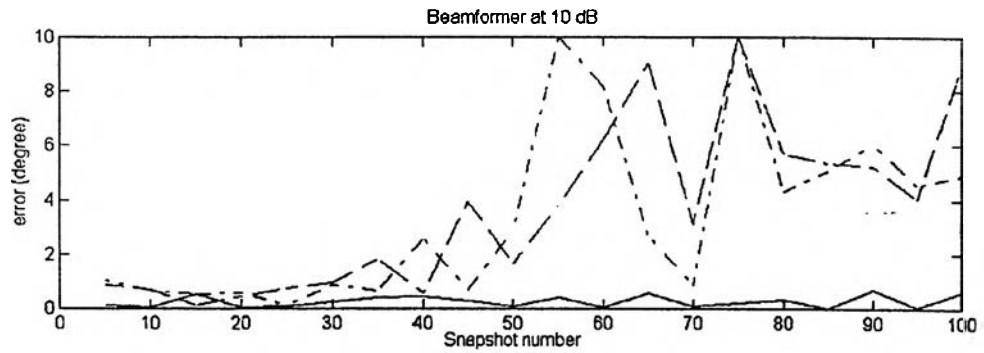
วิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



(c)

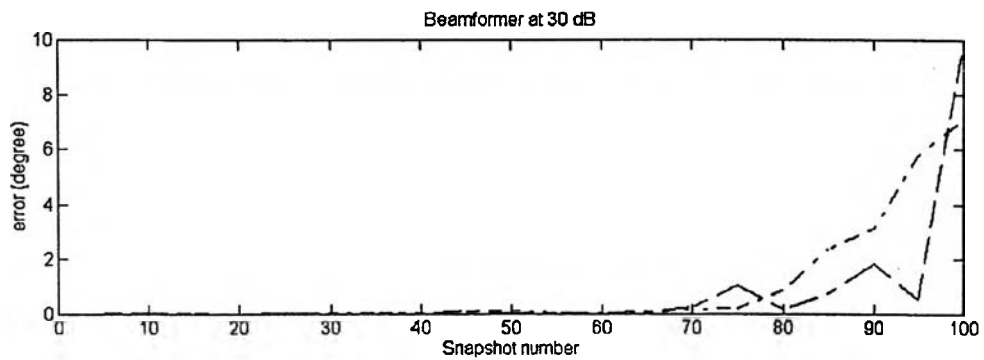
- สัญญาณไซนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.9 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ

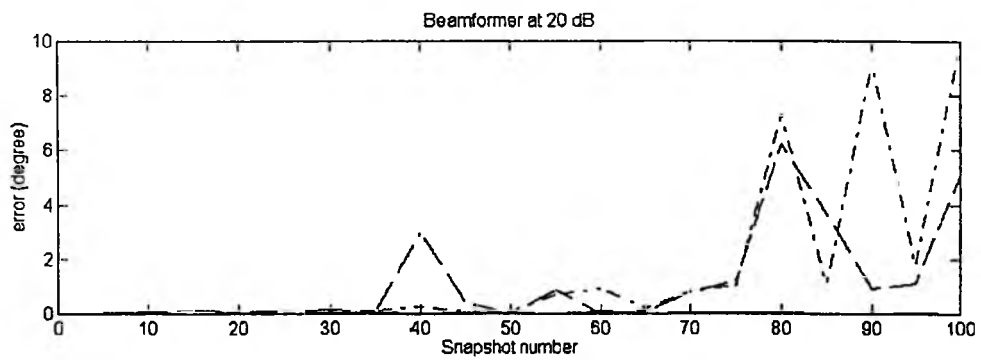
$m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

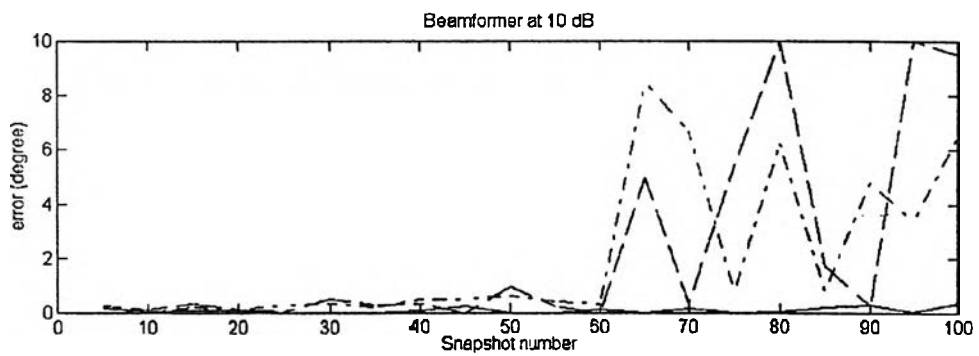
วิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



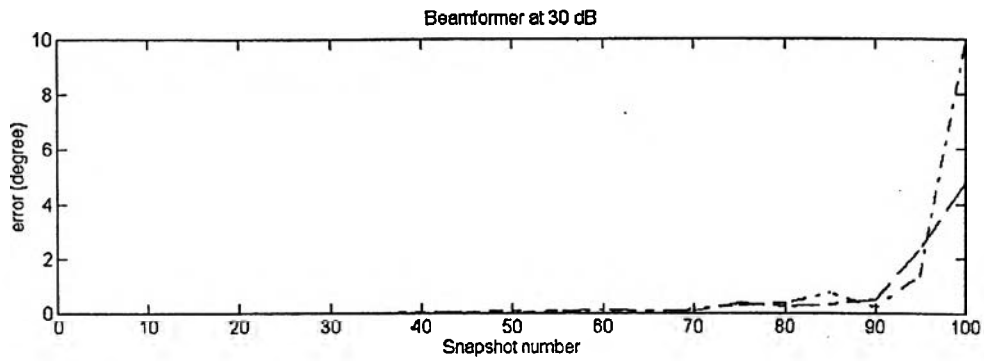
(c)

- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

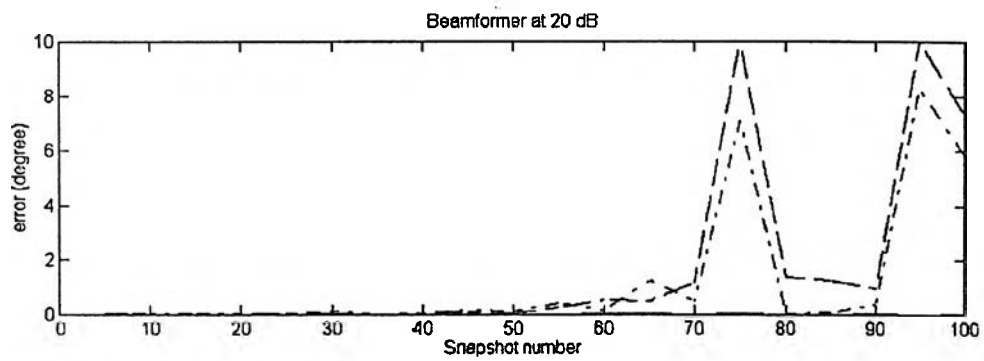
รูปที่ 4.10 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

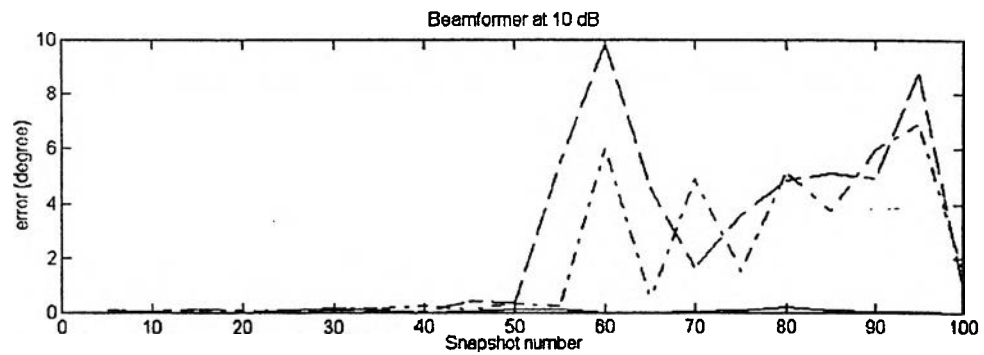
วิธีบีมฟอร์มเมอร์ เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไขว้ขอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.11 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

4.4 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น (Linear Prediction : LP) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการประมาณหาความถี่ของสัญญาณ (Frequency Estimate) สำหรับการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ (DOA Estimation) ดังนั้น ในการ snapshot ของข้อมูลสัญญาณ $N = 1$ snapshot ตามจำนวนสายอากาศ m จะมีลักษณะเปรียบเทียบกับจำนวนตัวอย่าง (Sample Number) ในทางอนุกรมเวลา แสดงการเปรียบเทียบดังตารางที่ 2.1 ในบทที่ 2

4.4.1 วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm

ผลการทดสอบที่ 4.5 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm

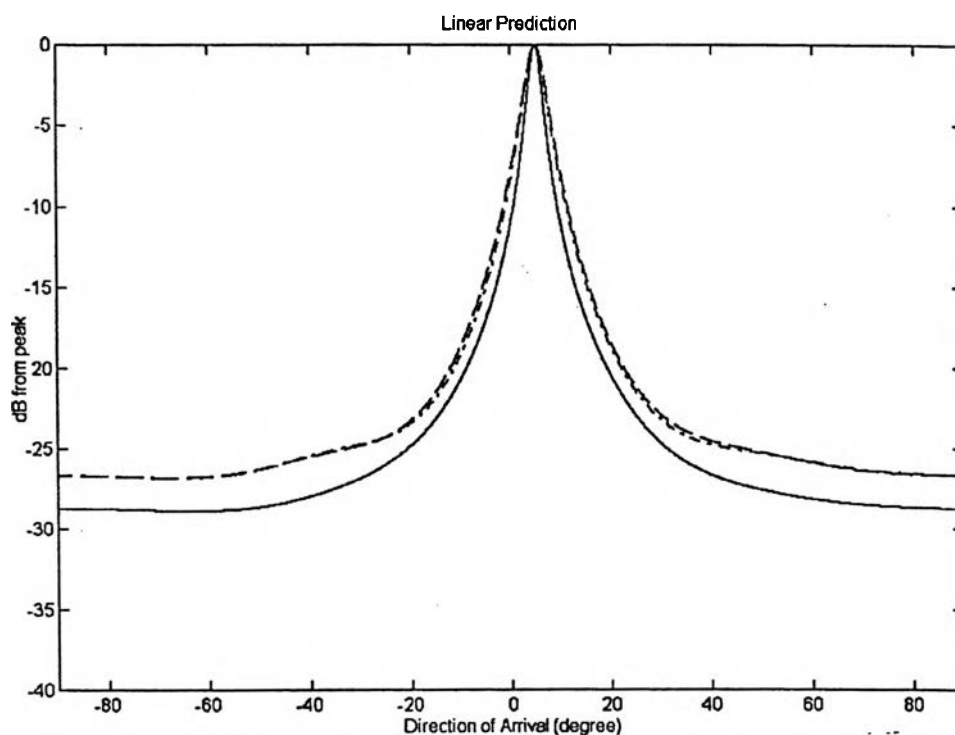
กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

รูปที่ 4.12 , 4.13 และ 4.14 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มา จากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จาก Levinson Algorithm อันดับที่ 4 นำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์แบบแบบพัลส์ ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ, -5^\circ$ และ 35° ตามลำดับ จะเห็นว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ค่ามุมทิศที่ได้มาจาก ผลการทดสอบ ในกรณีที่เป็นสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เป็นสัญญาณไซนูซอยด์

สำหรับตารางที่ 4.2a ถึง 4.2f จะเป็นตารางผลการทดสอบเปรียบเทียบ การหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้น จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ในแต่ละ

snapshot เมื่อแหล่งกำเนิดสัญญาณมีมุมทิศทางที่กรณีต่างๆ โดยทำการทดสอบที่มุมทิศทางมีค่าทั้ง บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา จะพบว่า วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้นนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ได้ มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศทางใกล้เคียงกับสัญญาณไชนูซอยด์

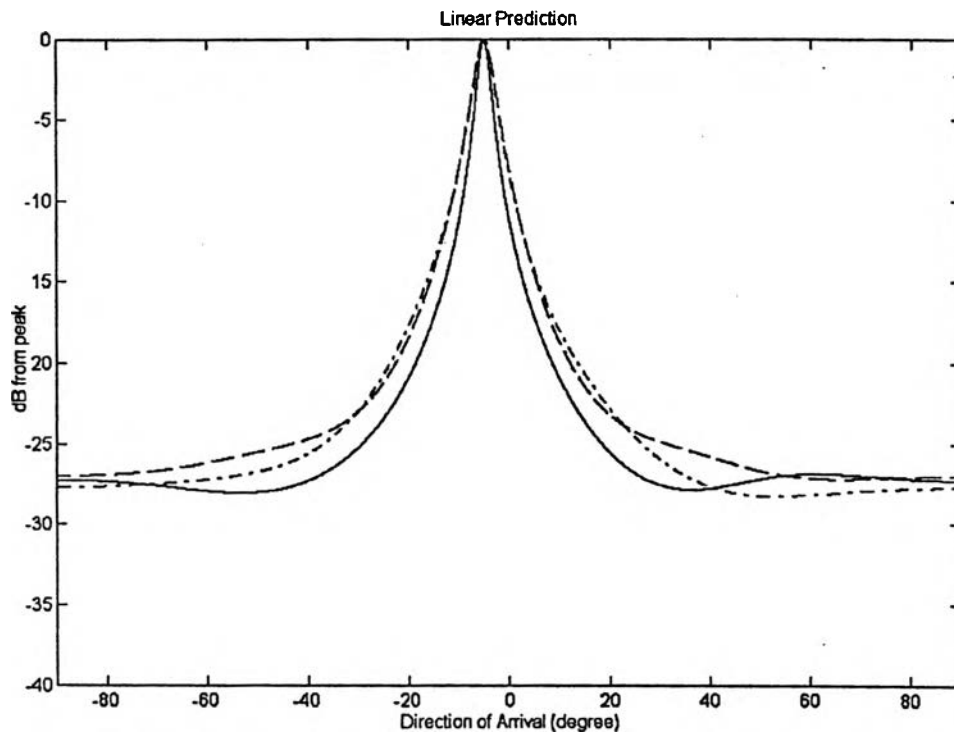
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีมุมทิศทางมีค่าเป็นบวก $DOA = 5^\circ$ เมื่อใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไชนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- .-.-.-.- สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไชนูซอยด์ และ สัญญาณไชนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ที่ $DOA = 5^\circ$

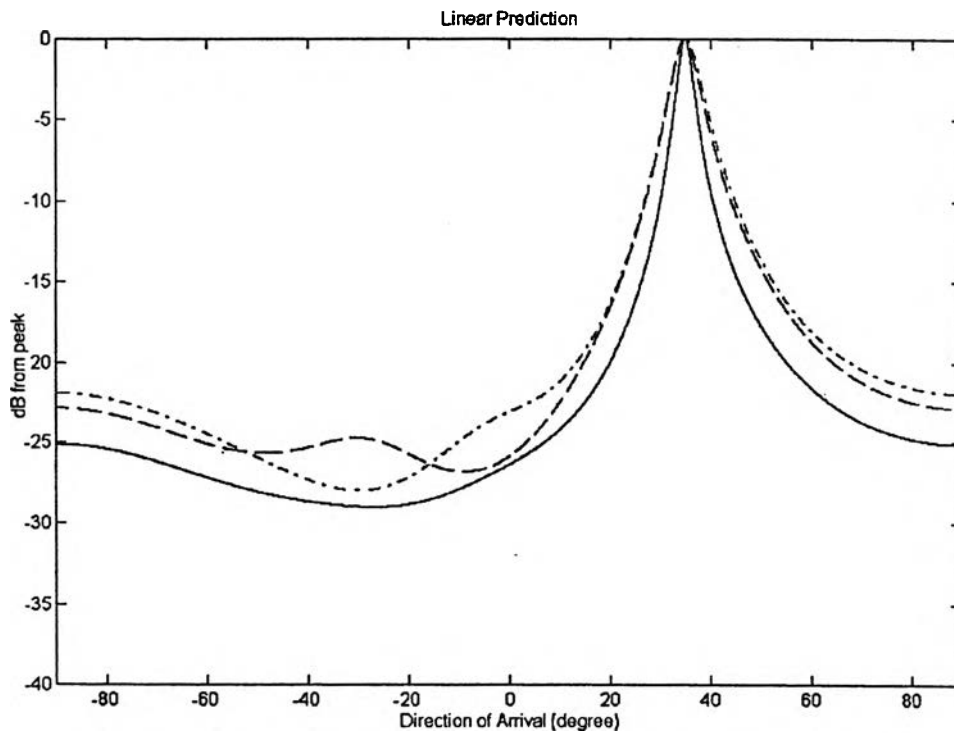
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีมุมทิศ
 ต่ำมีค่าเป็นลบ $DOA = -5^\circ$ เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณ
 ไซนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์
 อันดับที่ 4 ที่ $DOA = -5^\circ$

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีไม่มียุติศ
ปานกลางมีค่าเป็นบวก $DOA = 35^\circ$ เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไซนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณ
ไซนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์
อันดับที่ 4 ที่ $DOA = 35^\circ$

ตารางที่ 4.2a ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
0	0.0000	0.0185	-0.0020
5	5.0110	4.9900	4.9905
10	10.0025	10.0395	10.0135
15	15.0105	14.9855	14.9710
20	20.0075	19.7590	19.9320
25	25.0175	24.9985	24.8350
30	29.9930	30.2265	30.3405

ตารางที่ 4.2b ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
35	34.9975	35.2015	35.5200
40	40.0280	39.6280	40.0150
45	44.9840	44.7660	44.5660
50	50.0025	49.7995	50.3585
55	54.9515	54.1925	54.4800
60	59.9570	59.4600	59.8255

ตารางที่ 4.2c ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
65	65.0615	64.5550	65.2695
70	69.9115	69.2420	69.1015
75	74.9585	75.1345	73.4105
80	79.8745	76.9665	79.6560
85	88.9150	85.9296	86.4060
90	90.0000	90.0000	90.0000

ตารางที่ 4.2d ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศทางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-5	-4.9905	-5.0085	-5.0020
-10	-9.9805	-10.0100	-10.0210
-15	-15.0235	-15.0265	-15.0385
-20	-20.0215	-20.0045	-19.9360
-25	-24.9895	-25.2645	-24.8085
-30	-29.9945	-29.8860	-29.9385

ตารางที่ 4.2e ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศทางกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-35	-35.0120	-35.3040	-34.8265
-40	-40.0110	-39.8395	-40.4840
-45	-44.9650	-45.1735	-44.9005
-50	-49.9650	-50.3210	-50.3925
-55	-55.0355	-55.2995	-54.9780
-60	-59.9675	-59.7115	-59.4265

ตารางที่ 4.2f ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นเมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศทางกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-65	-64.9705	-63.7820	-65.1270
-70	-69.9950	-70.2125	-70.5420
-75	-75.0585	-73.9420	-74.9755
-80	-80.0670	-78.4130	-79.0305
-85	-87.6512	-83.4719	-86.7392
-90	-90.0000	-90.0000	-90.0000

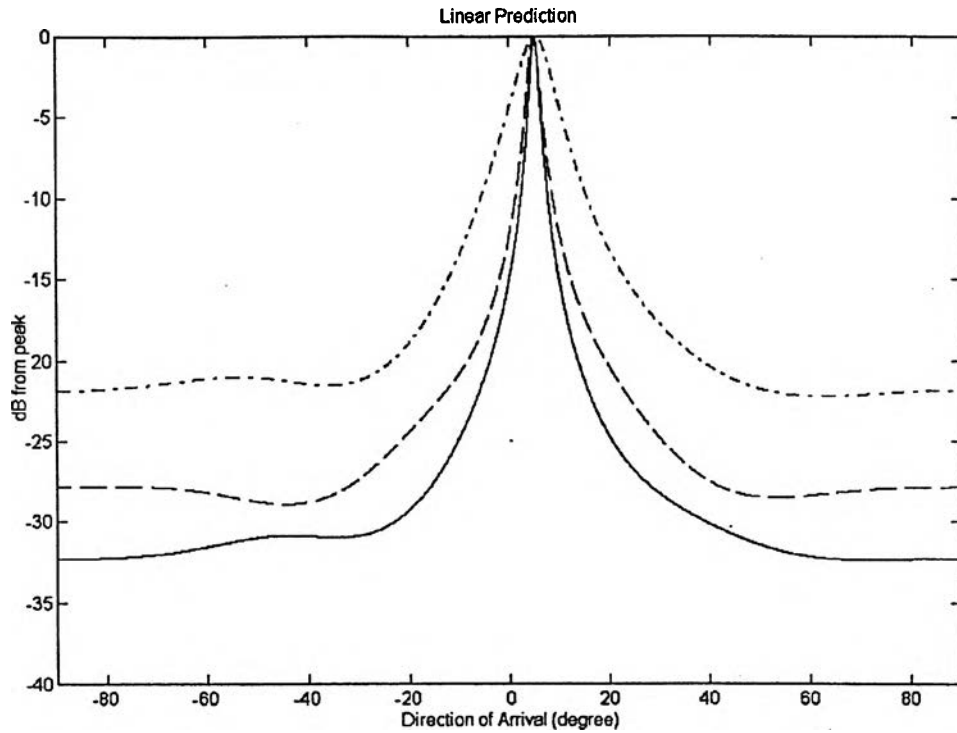
ผลการทดสอบที่ 4.6 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ที่สายอากาศ $m = 8, 16$
และ 24 ชุด

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ซักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น

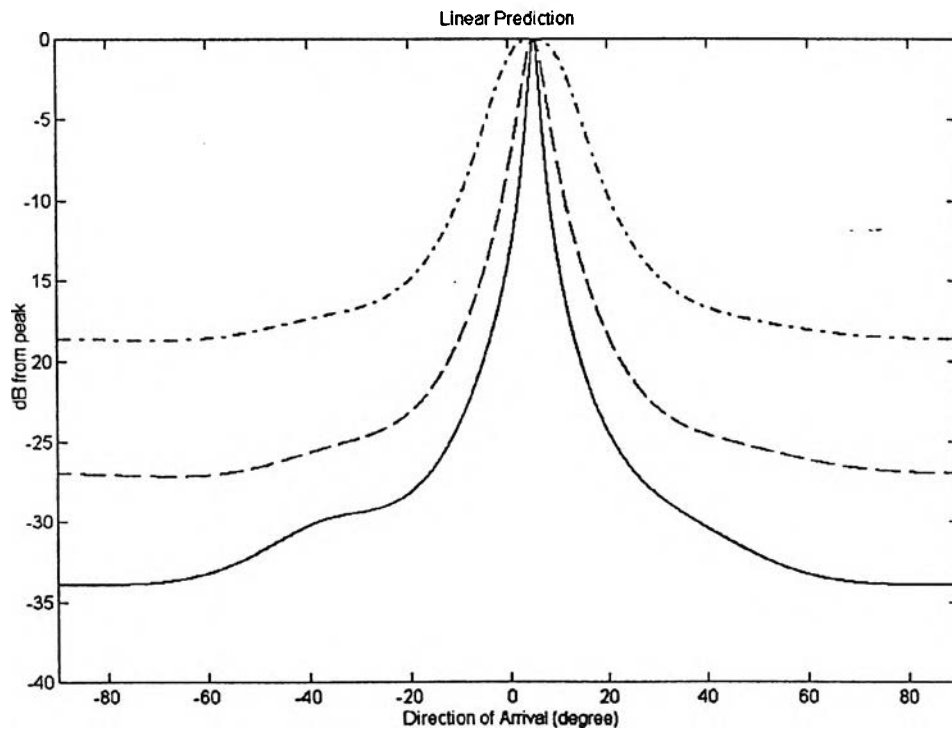
รูปที่ 4.15 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบใช้สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง กำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.15a กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ , รูปที่ 4.15b กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.15c กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีค่าไม่ต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมของสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ที่ได้จากการทดสอบจะพบว่า สำหรับการเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 8$ จะมีความละเอียดต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 16$ และ สเปกตรัมของสัญญาณของวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm จะมีความละเอียดที่สุด เมื่อเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 24$ ชุด

รูปที่ 4.16 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$) ที่เกิดขึ้น ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้ง บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.16a กรณี $m = 8$, รูปที่ 4.16b กรณี $m = 16$ และ รูปที่ 4.16c กรณี $m = 24$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่ต่างกัน มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าแตกต่างกัน โดยที่การเลือกใช้สายอากาศกรณี $m = 8$ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากกว่า การเลือกใช้สายอากาศกรณี $m = 16$ และกรณี $m = 24$ ในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ และ มุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีมุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไซนูซอยด์

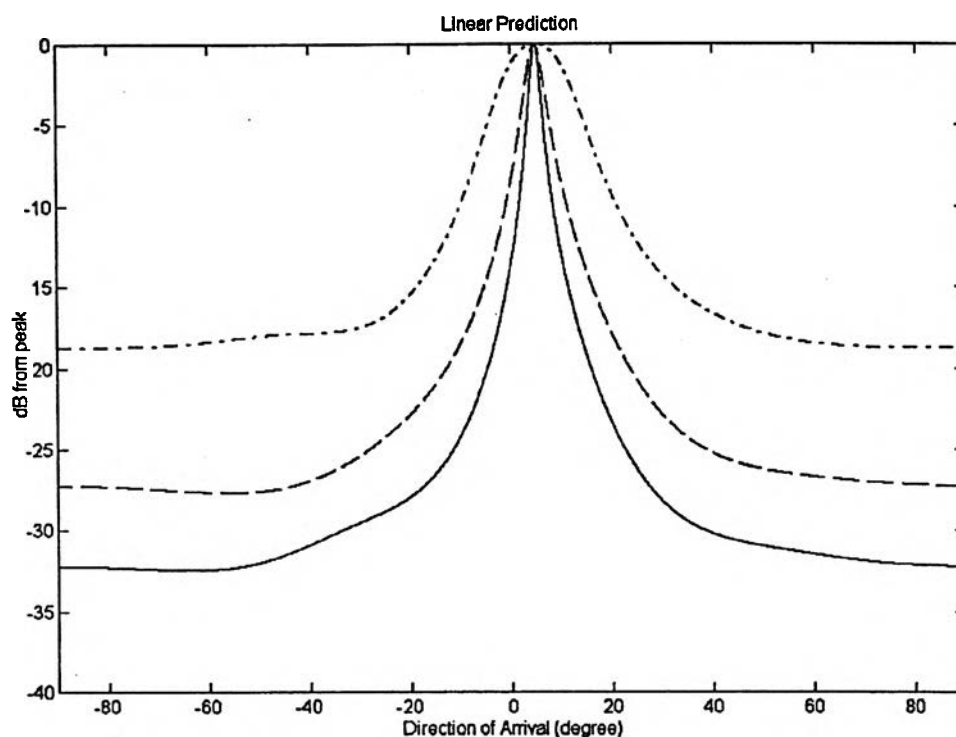
ตัวอย่าง การเลือกใช้สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ด้วยวิธีการประมาณพื้นที่เชิงเส้น ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



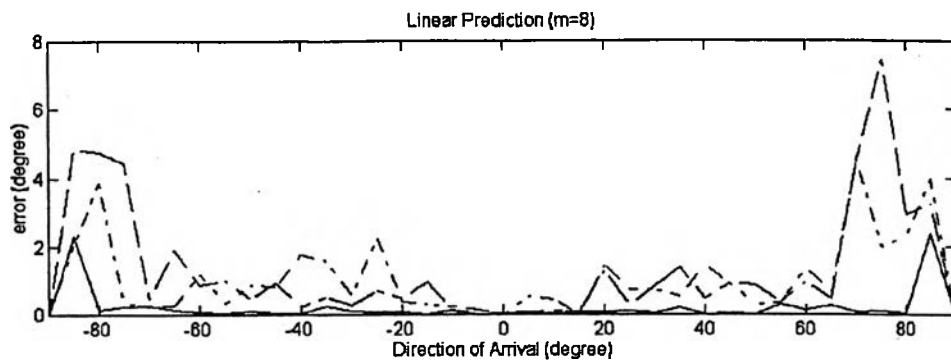
(c)

————— $m = 24$ ชุด
 - - - - - $m = 16$ ชุด
 $m = 8$ ชุด

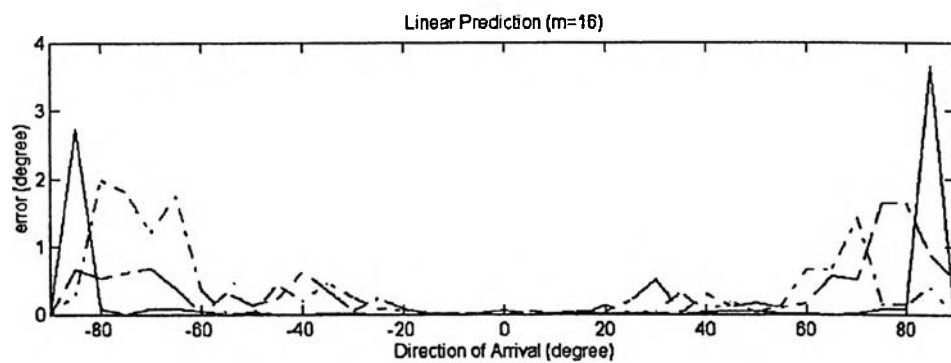
รูปที่ 4.15 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm อันดับที่ 4 จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด

- (a) สัญญาณไซน์ซอชยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ซอชยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ซอชยด์ ลักษณะที่ 2

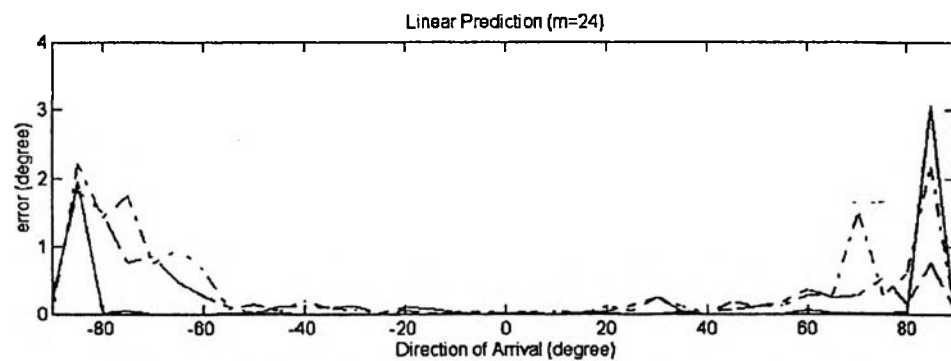
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

————— สัญญาณไซนูซอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
 สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.16 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น เมื่อใช้
 Levinson Algorithm ที่สายอากาศมีค่า (a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด

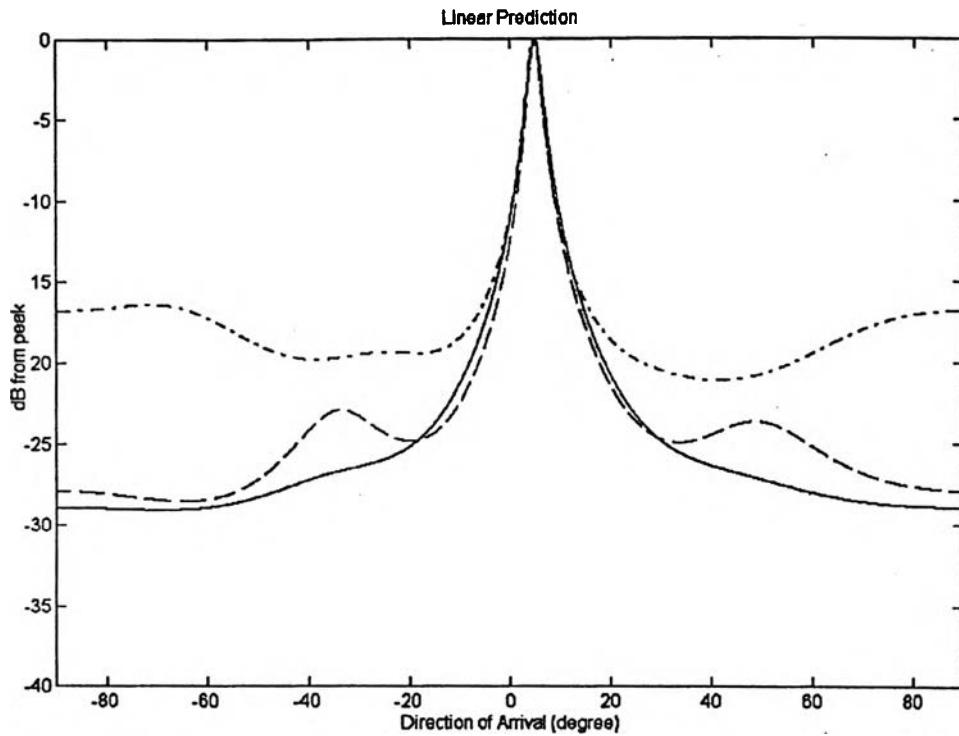
ผลการทดสอบที่ 4.7 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ที่ สัญญาณรบกวนมีค่า
SNR = 10, 20 และ 30 dB

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง
แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2
นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการ
แจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR = 10, 20 และ 30
dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ซักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ใช้
Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ
ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

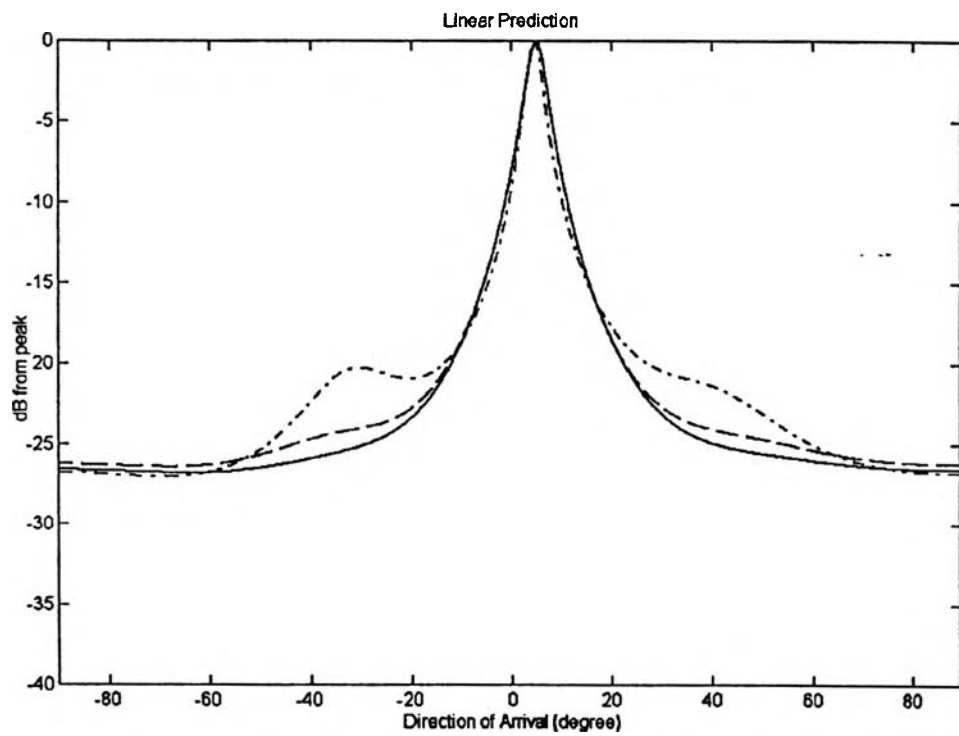
รูปที่ 4.17 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการ
ประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อสัญญาณรบกวน
ที่เกิดขึ้นในระบบ มีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.17a กรณี
สัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.17b กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.17c กรณีสัญญาณ
พัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศ
ทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีลักษณะที่ไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี และจากการทดสอบจะพบว่า สำหรับ
สเปกตรัมของสัญญาณจากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นใช้ Levinson Algorithm ถ้ากรณีที่สัญญาณรบกวนเกิด
ขึ้นในระบบมีมาก หรือ มีค่า SNR ต่ำ (10 dB) ในการหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จะมีโอกาส
เกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า กรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีน้อย หรือ มีค่า SNR สูง (20, 30
dB) และ ค่ามุมทิศมีโอกาสเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า SNR = 30 dB

รูปที่ 4.18 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$) ที่เกิดขึ้น
ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson
Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง
ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.18a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.18b กรณี SNR = 20
dB และรูปที่ 4.18c กรณี SNR = 10 dB จากการทดสอบจะพบว่า ในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ จะมีค่าความคลาด
เคลื่อนของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณี
สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าปานกลาง
และมุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไชนูซอยด์

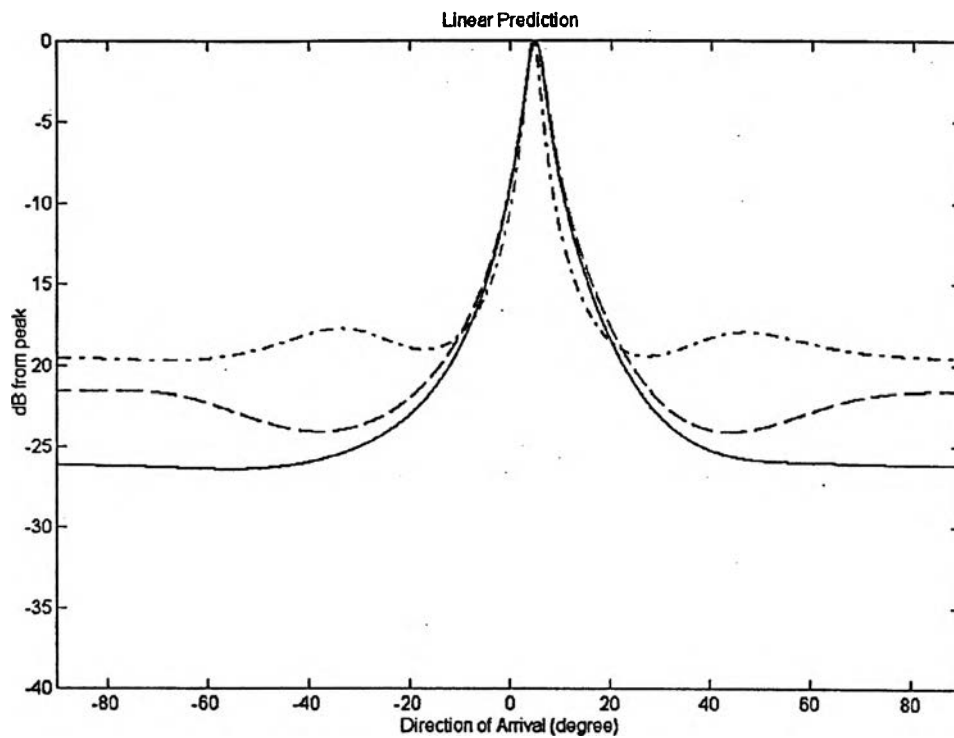
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น เมื่อ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



(c)

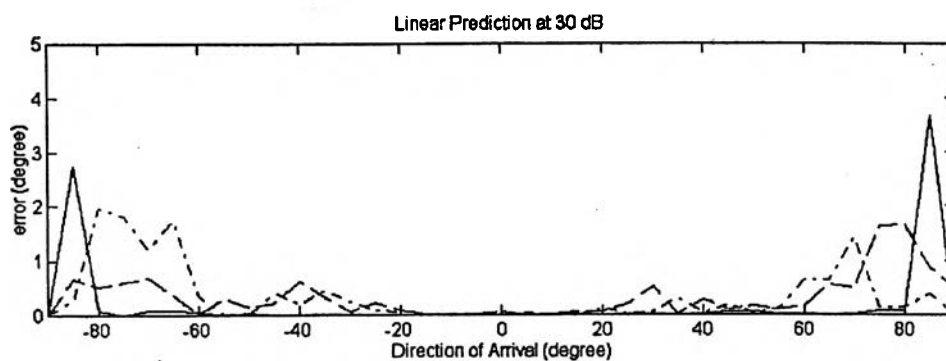
_____ SNR = 30 dB
 - - - - - SNR = 20 dB
 - . - . - SNR = 10 dB

รูปที่ 4.17 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

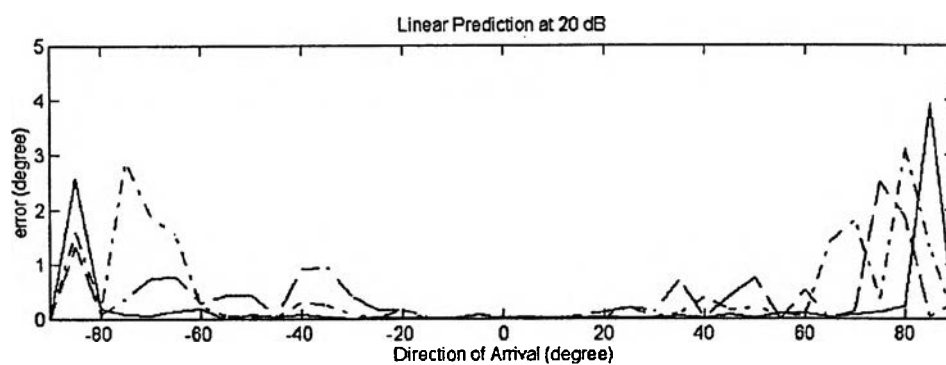
จาก Levinson Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

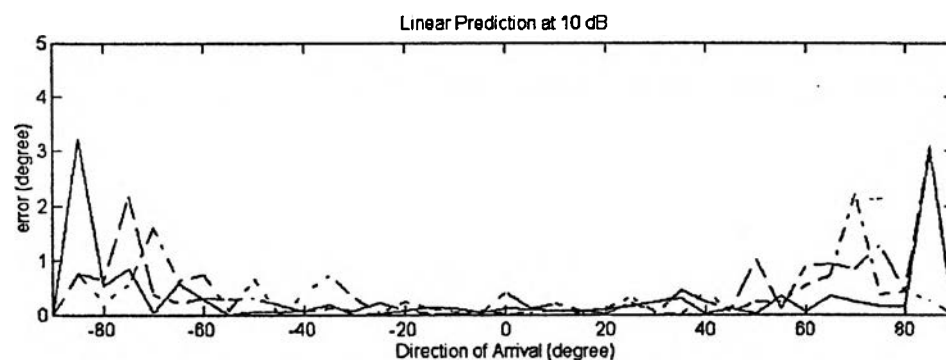
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พ้นระเชิงเส้น เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

—————	สัญญาณไขว้ขอยด์
- - - - -	สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
.....	สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.18 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพ้นระเชิงเส้น เมื่อใช้
 Levinson Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

ผลการทดสอบที่ 4.8 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ในช่วงสัญญาณที่ต่างกัน

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 10, 20$ และ 30 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่ากัน ตั้งแต่ $1 - 100$ snapshot ใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Levinson Algorithm เพื่อนำมาใช้กับวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ ($y_m(t)$) จากการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ (N) จำนวนหลาย ๆ snapshot ในช่วงสัญญาณที่แตกต่ากันจากสายอากาศ (m) สามารถทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ เป็น 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 นำข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ จำนวนหลาย snapshot ในแต่ละช่วงสัญญาณที่ต่างกัน มาทำการประมาณหาฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function estimate: ACF) ในแต่ละชุดของข้อมูลก่อน แล้วจึงนำมาใช้ในขั้นตอนกรรมวิธีของ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์ของการประมาณพันธะเชิงเส้น เพื่อทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

แบบที่ 2. นำข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ ในแต่ละ snapshot ในช่วงสัญญาณที่ต่างกัน มาทำการประมาณหาฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function estimate: ACF) ในแต่ละ snapshot ก่อน แล้วจึงนำมาใช้ในขั้นตอนกรรมวิธีของ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์ของการประมาณพันธะเชิงเส้น ทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณสามารถหาได้จากค่ามุมทิศทางที่เกิดขึ้นจากสเปกตรัมของสัญญาณในแต่ละ snapshot

รูปที่ 4.19 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นในแบบที่ 1 เมื่อทำการทดสอบชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ,กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มีมุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ไม่แตกต่ากันทั้ง 3 กรณี

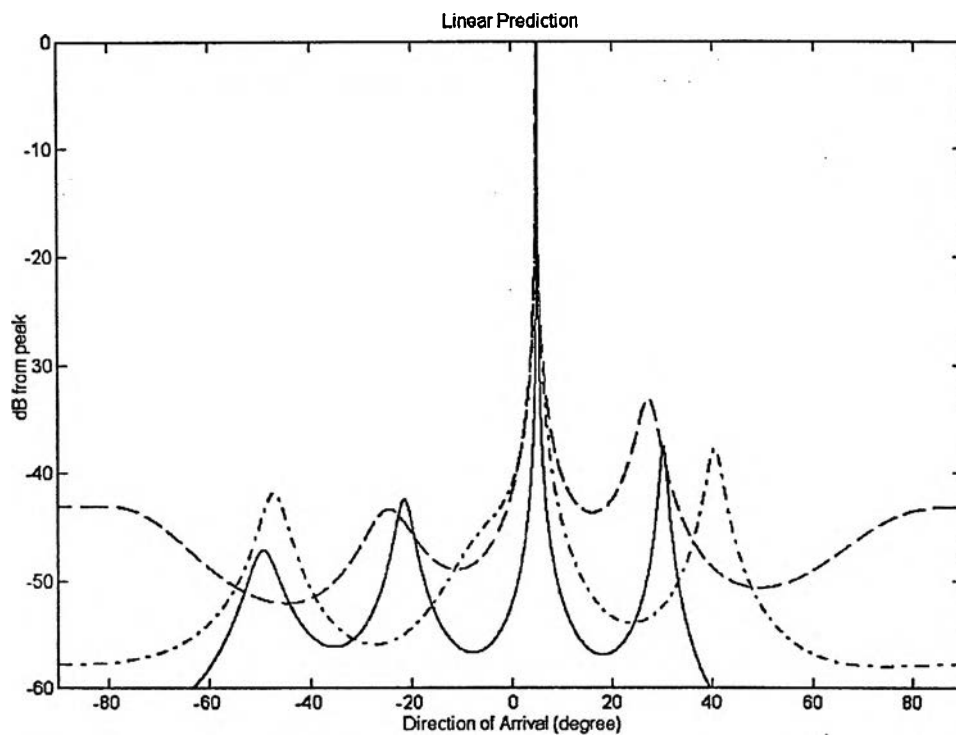
รูปที่ 4.20 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นในแบบที่ 2 เมื่อทำการทดสอบชักตัวอย่างสัญญาณในแต่ละ snapshot จำนวน $N = 20$ snapshot ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.20a กรณีสัญญาณไซน์ซอชอยด์ , รูปที่ 4.20b กรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.20c กรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ จุดสูงสุดที่เกิดขึ้นจากสเปกตรัมของสัญญาณในแต่ละ snapshot จะนำมาใช้ประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการหาค่ามุมทิศเฉลี่ย

รูปที่ 4.21 , 4.22 และ 4.23 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงสัญญาณ ในแบบที่ 1 เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ snapshot ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot และรูปที่ 4.24 , 4.25 และ 4.26 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นแต่ละ snapshot ในแบบที่ 2 เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot โดยทำการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไซน์ซอชอยด์ และกรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ โดยกำหนดให้

- รูปที่ 4.21 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.24 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 8$ กำหนดให้ (a) กรณี SNR = 30 dB , (b)กรณี SNR = 20 dB และ (c) กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.22 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.25 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 16$ กำหนดให้ (a) กรณี SNR = 30 dB , (b) กรณี SNR = 20 dB และ (c) กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.23 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.26 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 24$ กำหนดให้ (a) กรณี SNR = 30 dB , (b) กรณี SNR = 20 dB และ (c) กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ

จากการทดสอบจะพบว่า การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ในกรณีของสัญญาณไซน์ซอชอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้น แต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน และกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า กรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่าน้อย หรือ ค่า SNR สูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะไม่แตกต่างกันในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพัลส์ของสัญญาณจางหายไป

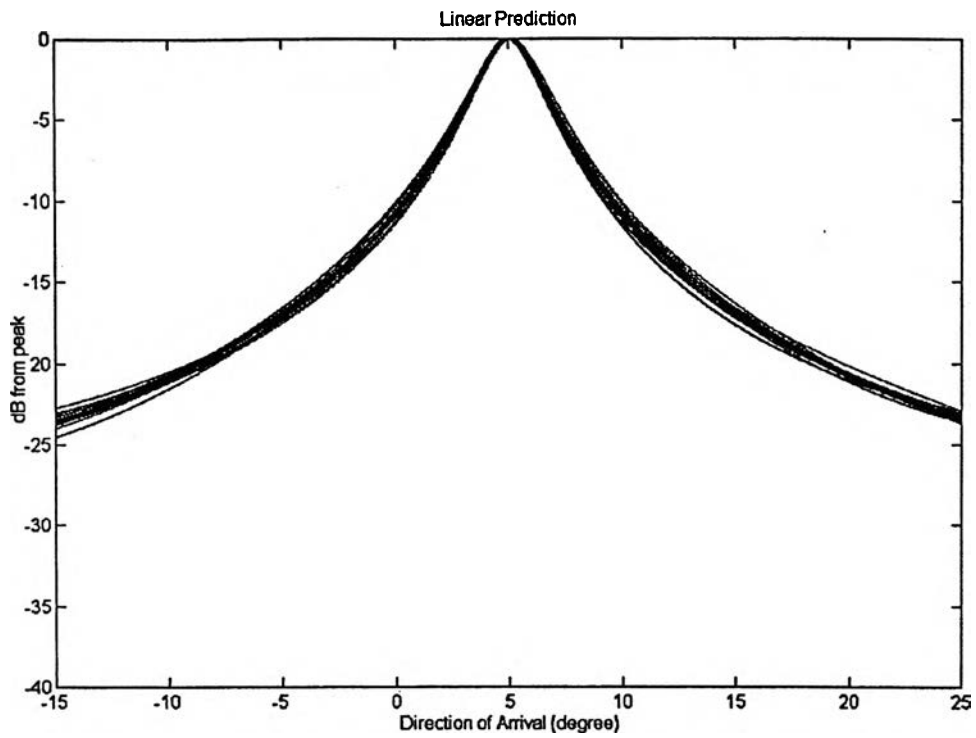
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1
 ที่ $DOA = 5^\circ$ เมื่อ $N = 20$ snapshot



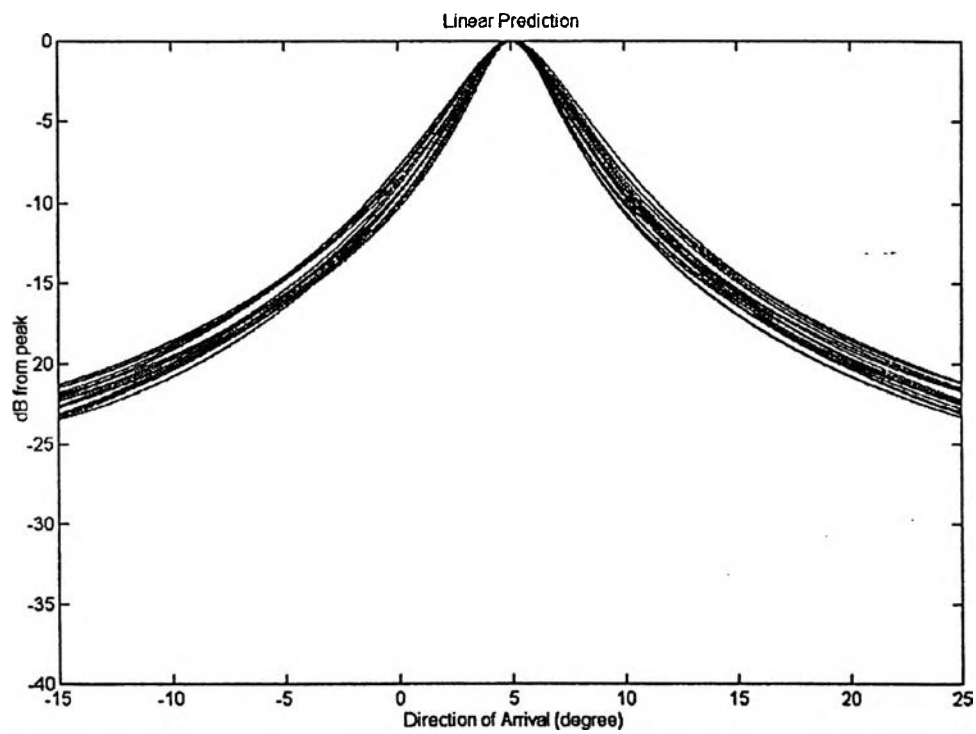
- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพหุคูณเชิงเส้น ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพหุคูณเชิงเส้น ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.19 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1
 จาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 เมื่อ $N = 20$ snapshot ที่ $DOA = 5^\circ$

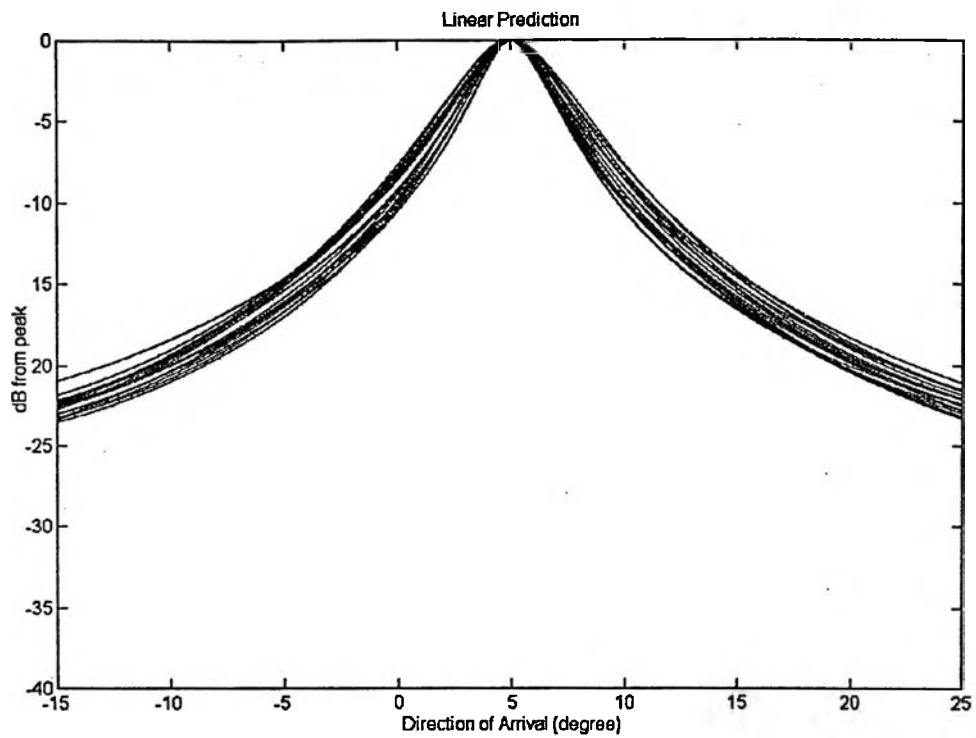
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2
ที่ $DOA = 5^\circ$ เมื่อ $N = 20$ snapshot



(a)



(b)

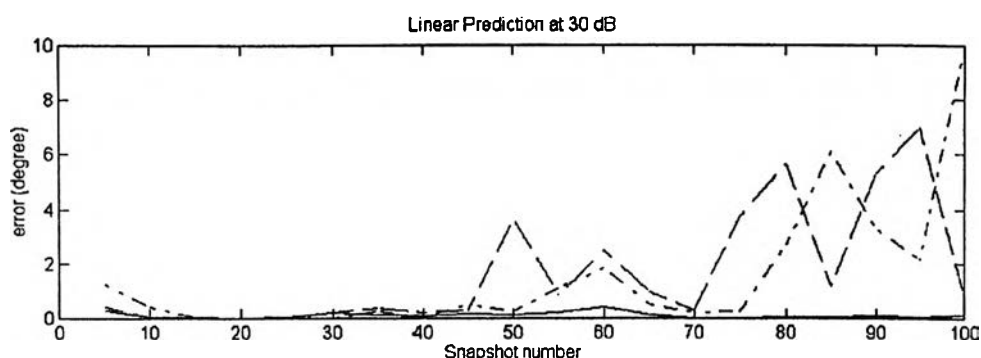


(c)

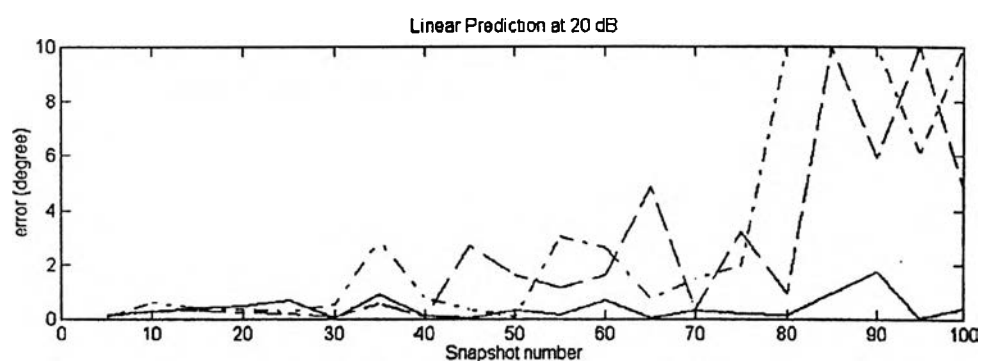
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้นแบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm เมื่อ $N = 20$ snapshot

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

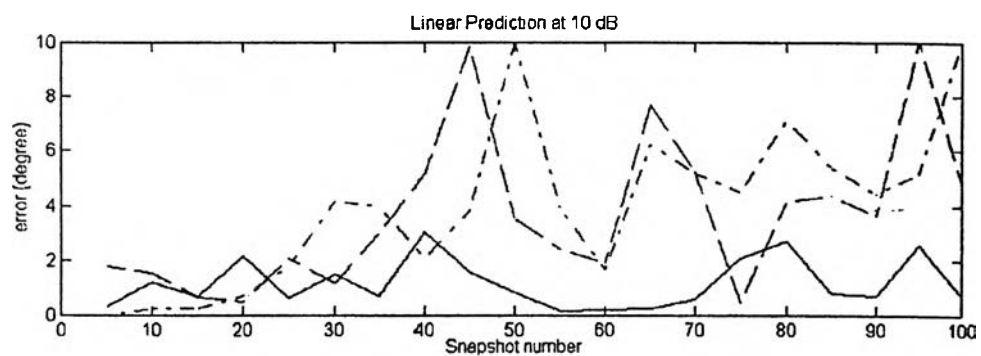
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 1 สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)

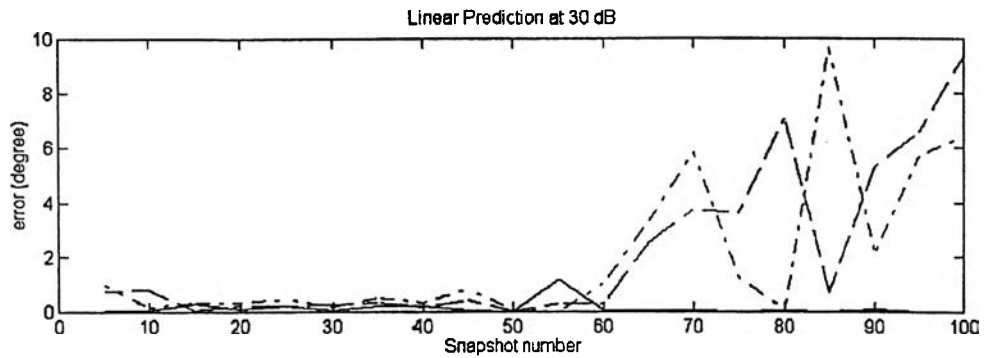


(c)

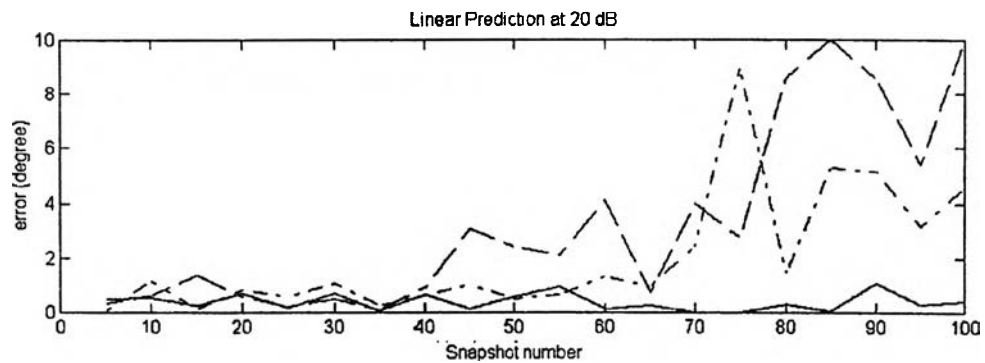
————— สัญญาณไซนุซอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ลักษณะที่ 1
 - . - . - . สัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.21 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 1
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

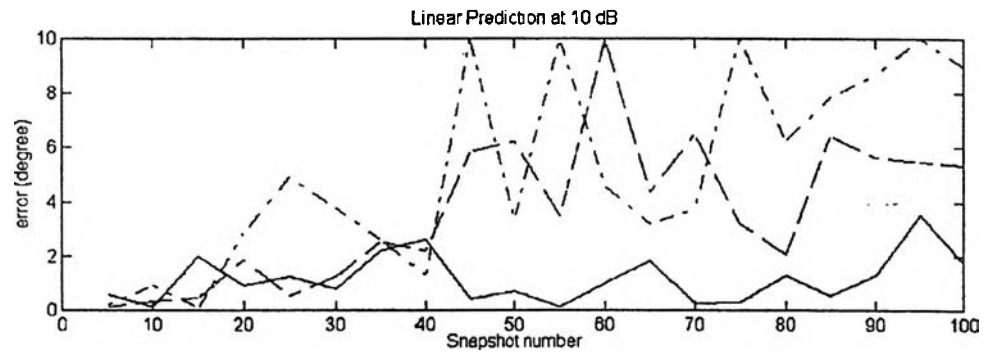
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 1 สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)

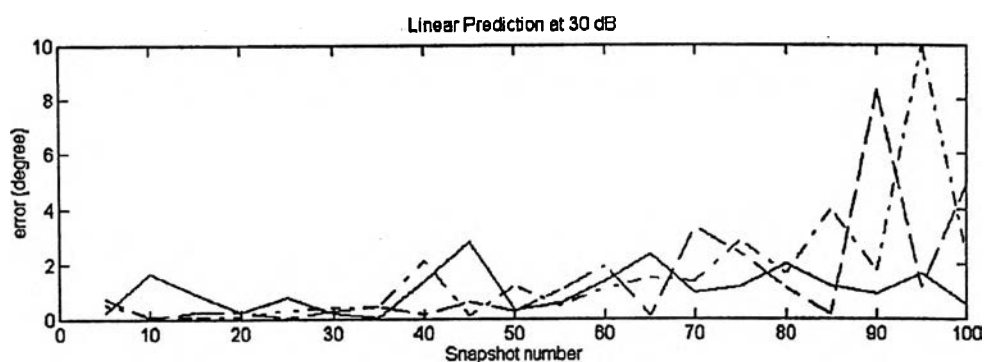


(c)

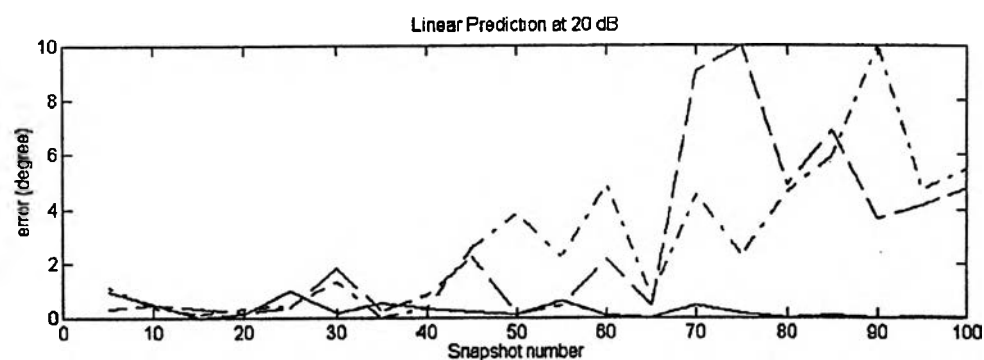
- สัญญาณไซนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.22 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 1
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

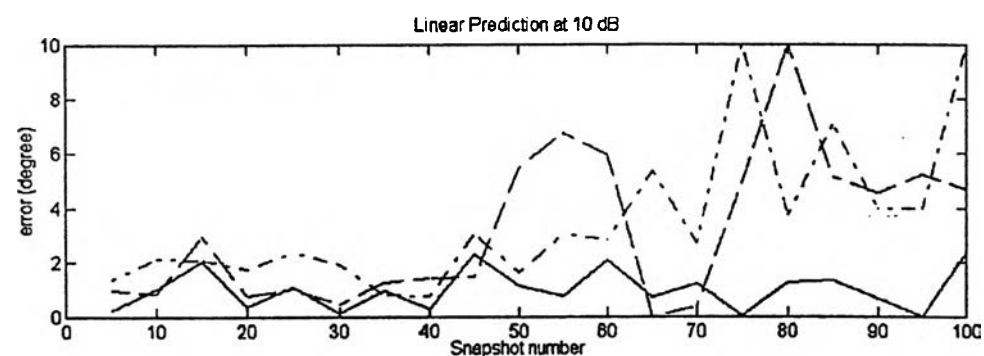
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 1 สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)

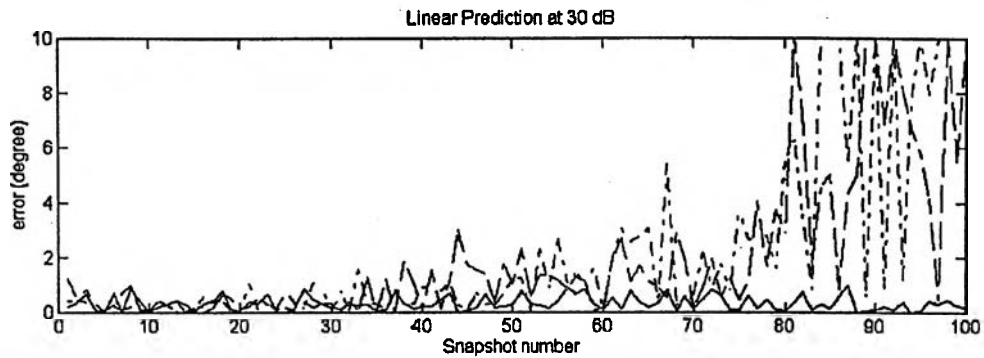


(c)

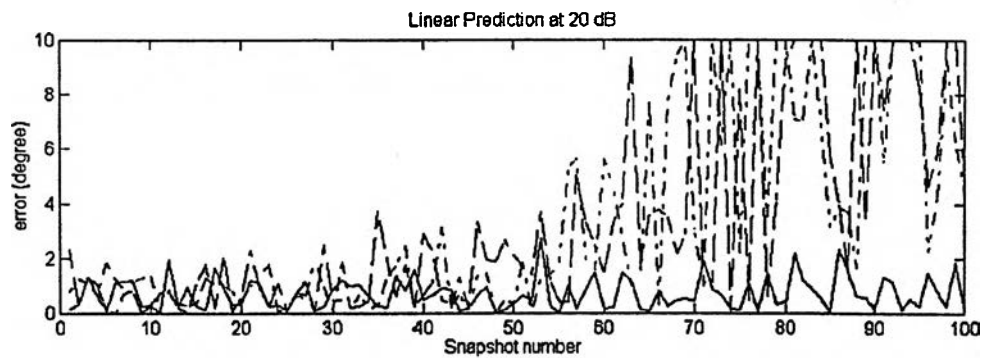
————— สัญญาณโซ่ชอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์โซ่ชอยด์ ลักษณะที่ 1
 - · - · - · สัญญาณพัลส์โซ่ชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.23 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 1
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

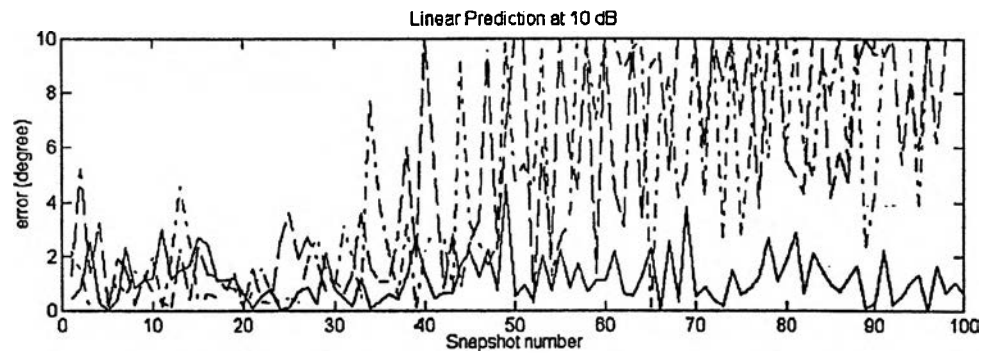
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 2 สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า $SNR = 10, 20$ และ 30 dB



(a)



(b)

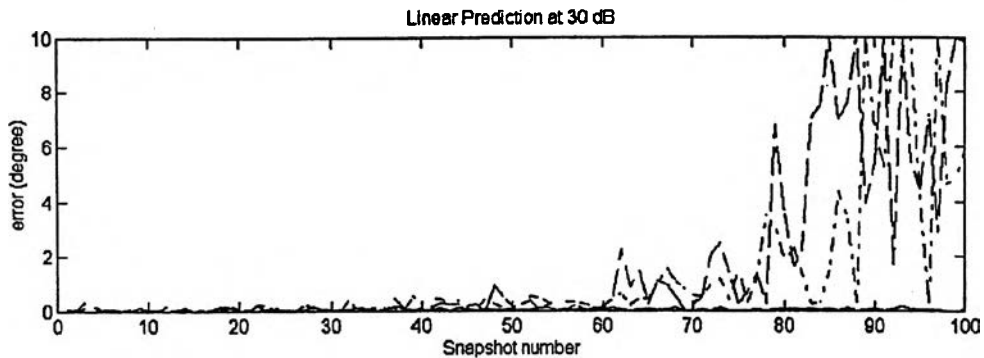


(c)

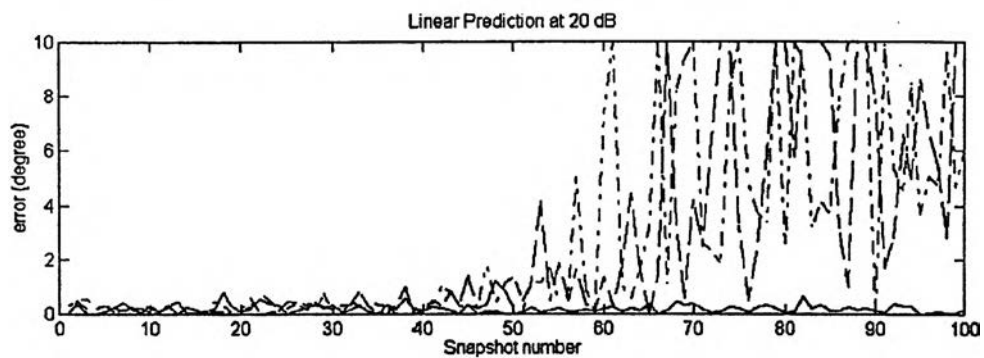
- สัญญาณไขว้ขอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - . สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.24 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 2
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

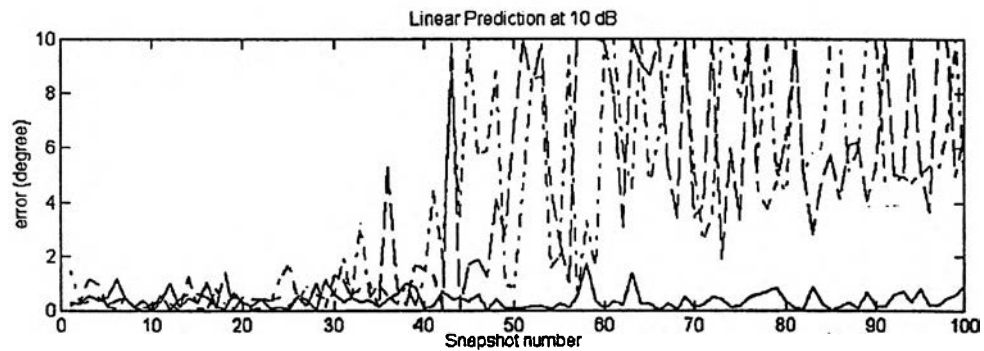
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 2 สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



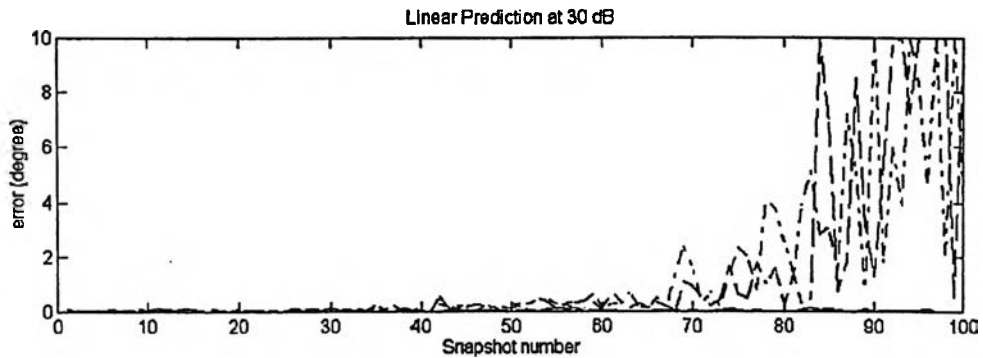
(c)

————— สัญญาณไขวชอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 1
 ········· สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 2

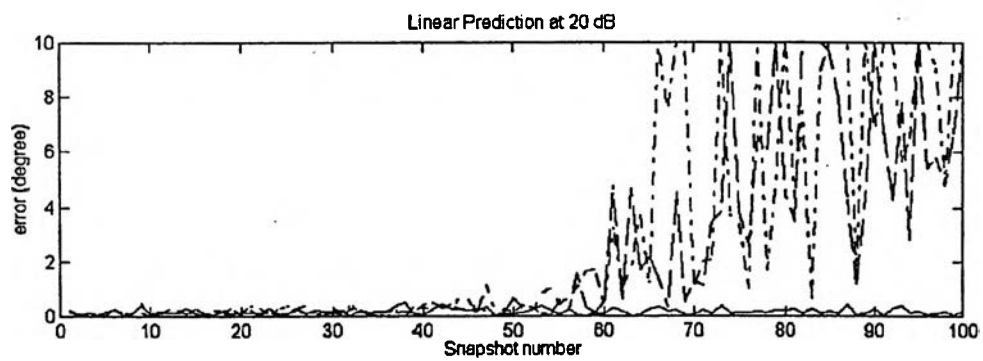
รูปที่ 4.25 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 2

เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

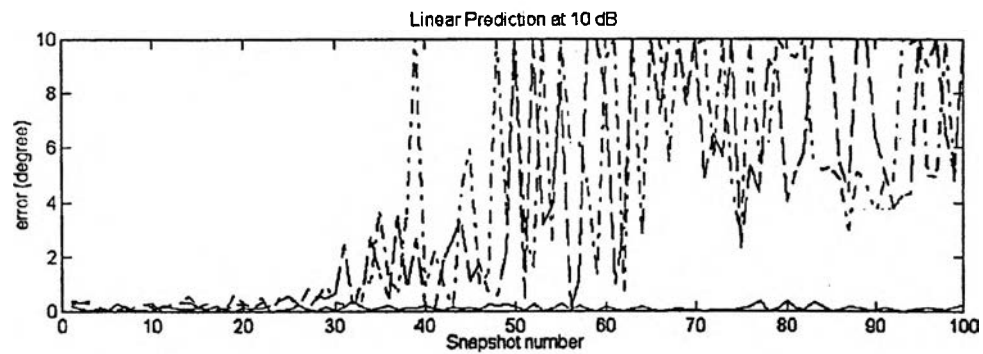
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันธ์ะเชิงเส้น แบบที่ 2 สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



(c)

—————	สัญญาณโซลชอยด์
- - - - -	สัญญาณพัลส์โซลชอยด์ ลักษณะที่ 1
.....	สัญญาณพัลส์โซลชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.26 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธ์ะเชิงเส้น แบบที่ 2
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB,
 (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$

ผลการทดสอบที่ 4.9 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับ
ที่ 3, 5 และ 7

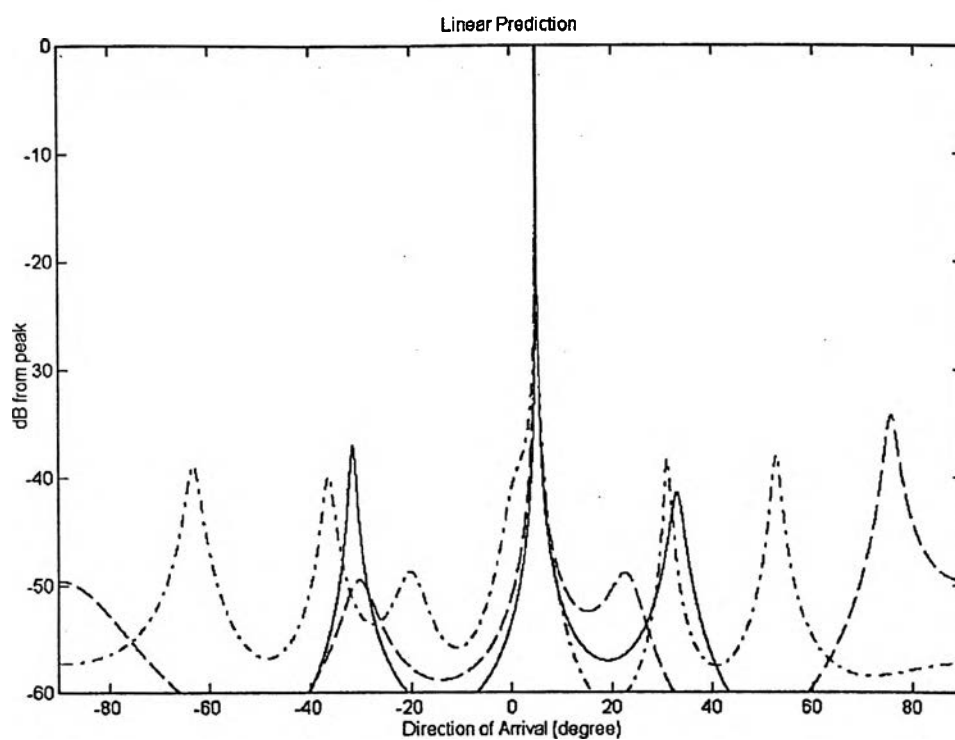
กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศมีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot สำหรับในแบบที่ 1 และชักตัวอย่างสัญญาณ $N = 1$ snapshot สำหรับในแบบที่ 2 ใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น

รูปที่ 4.27 และ 4.28 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 สำหรับแบบที่ 1 ($N = 20$ snapshot) และ แบบที่ 2 ($N = 1$ snapshot) ตามลำดับ มาประมาณหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ (a) กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ , (b) กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ (c) กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี

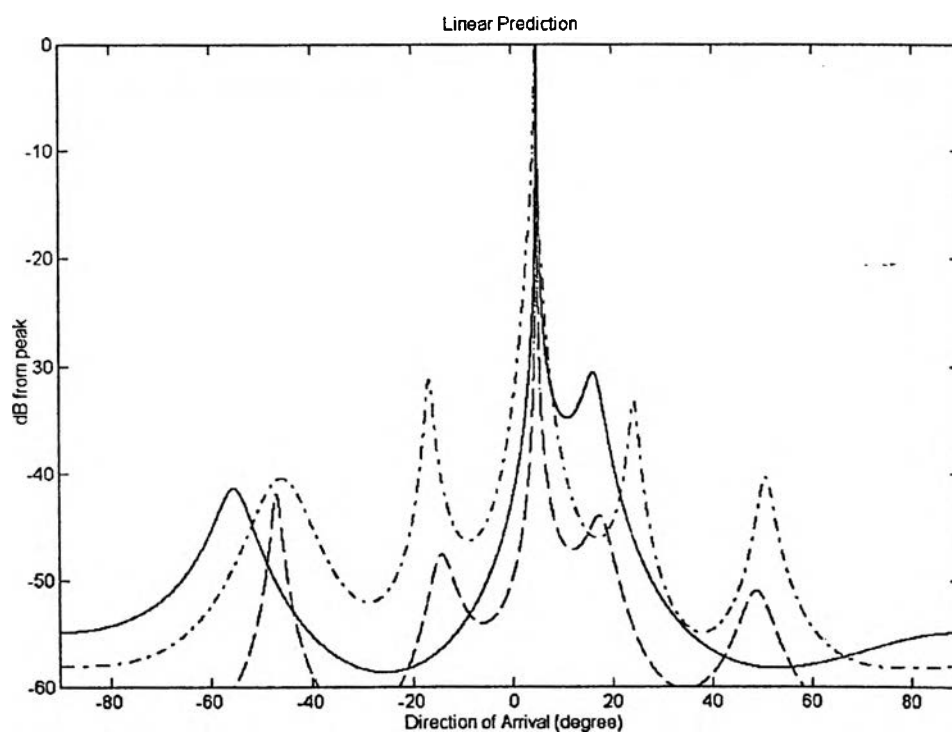
รูปที่ 4.29 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.30 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$ snapshot) ในแบบที่ 2 ที่เกิดขึ้น ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีมุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้งบวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ (a) กรณี $p = 3$, (b) กรณี $p = 5$ และ (c) กรณี $p = 7$ ตามลำดับ จากการทดสอบจะพบว่า ในกรณีสัญญาณไชนูซอยด์การใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับต่างกัน จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศในแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งในกรณีที่มีมุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ โดยทั่วไปในกรณีที่มีมุมทิศมีค่าต่ำ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าสูง และการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ในแบบที่ 1 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 2

รูปที่ 4.31 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงสัญญาณ ในแบบที่ 1 เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณครั้งละ $N = 5$ snapshot ตั้งแต่ 1-100 snapshot และรูปที่ 4.32 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นแต่ละ snapshot ในแบบที่ 2 เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณครั้งละ $N = 1$ snapshot ตั้งแต่ 1-100 snapshot การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm สำหรับแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ และกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ โดยกำหนดให้ (a) กรณี $p = 3$, (b) กรณี $p = 5$ และ (c) กรณี $p = 7$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ในกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ การเลือกใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ต่างกัน จะมีค่าคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่ต่ำ และมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของสัญญาณ ทั้งในแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพัลส์ของสัญญาณจางหายไป

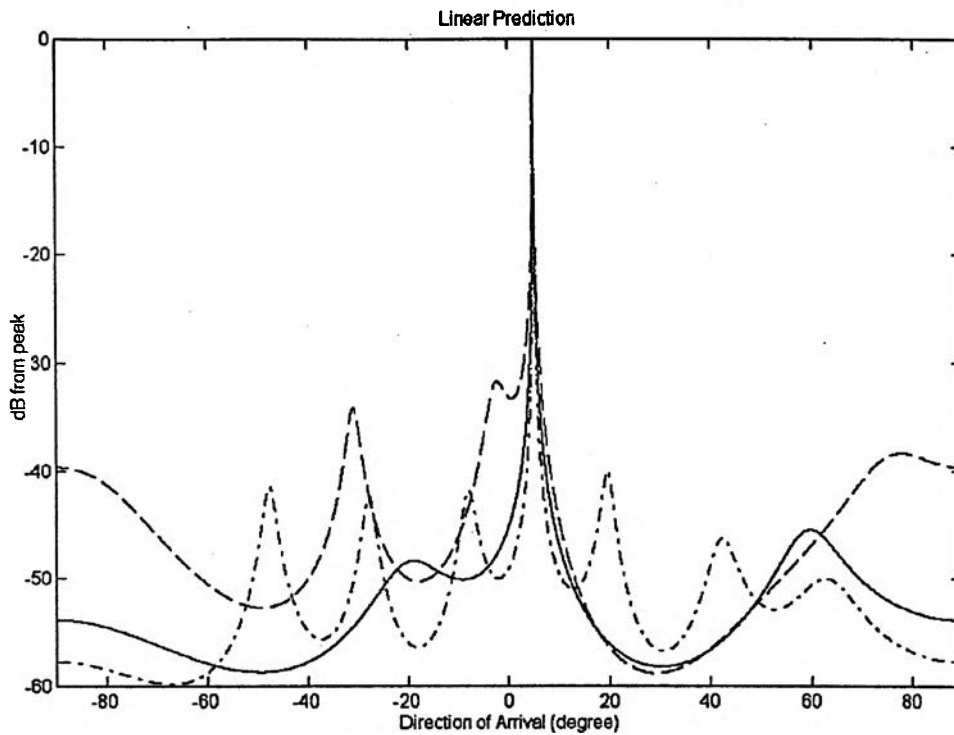
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1
ใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



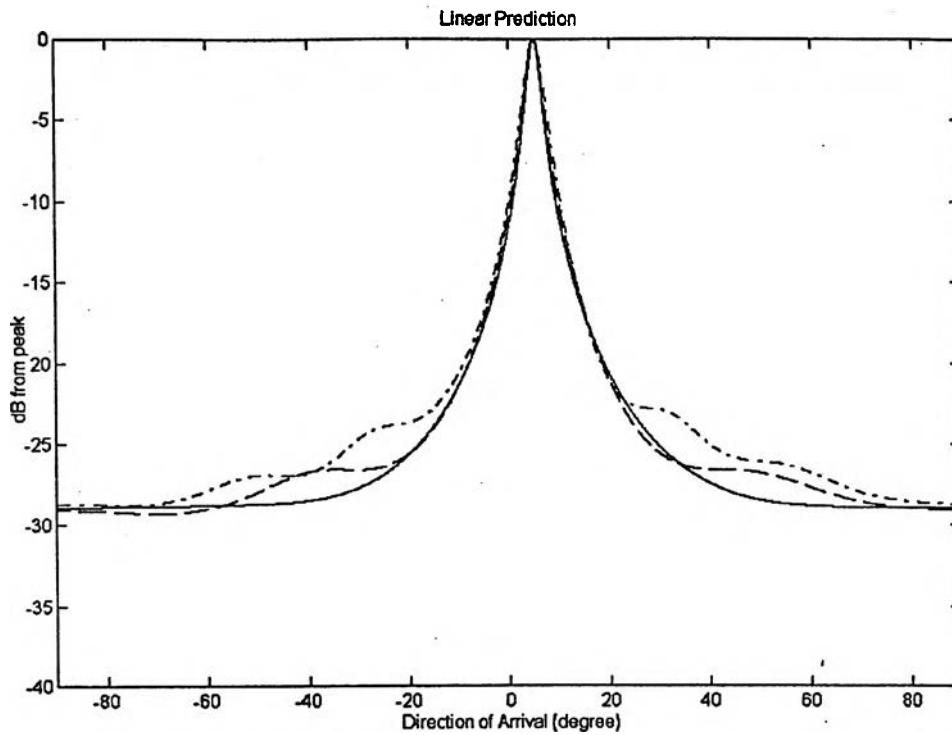
(c)

_____ $p = 3$
 - - - - - $p = 5$
 - . - . - $p = 7$

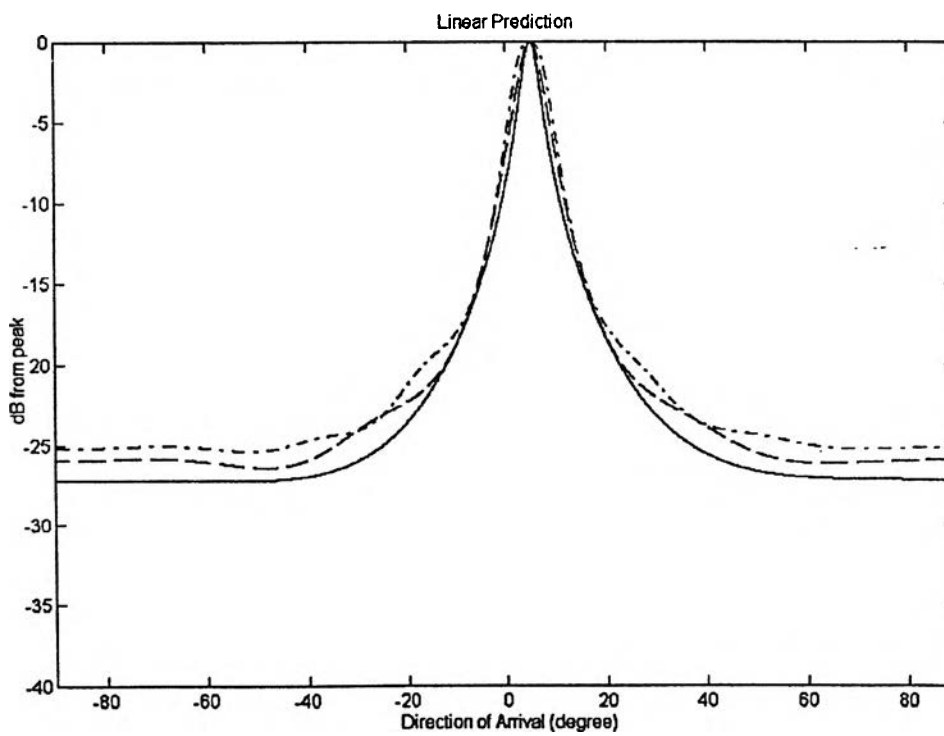
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ $p = 3, 5$ และ 7

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

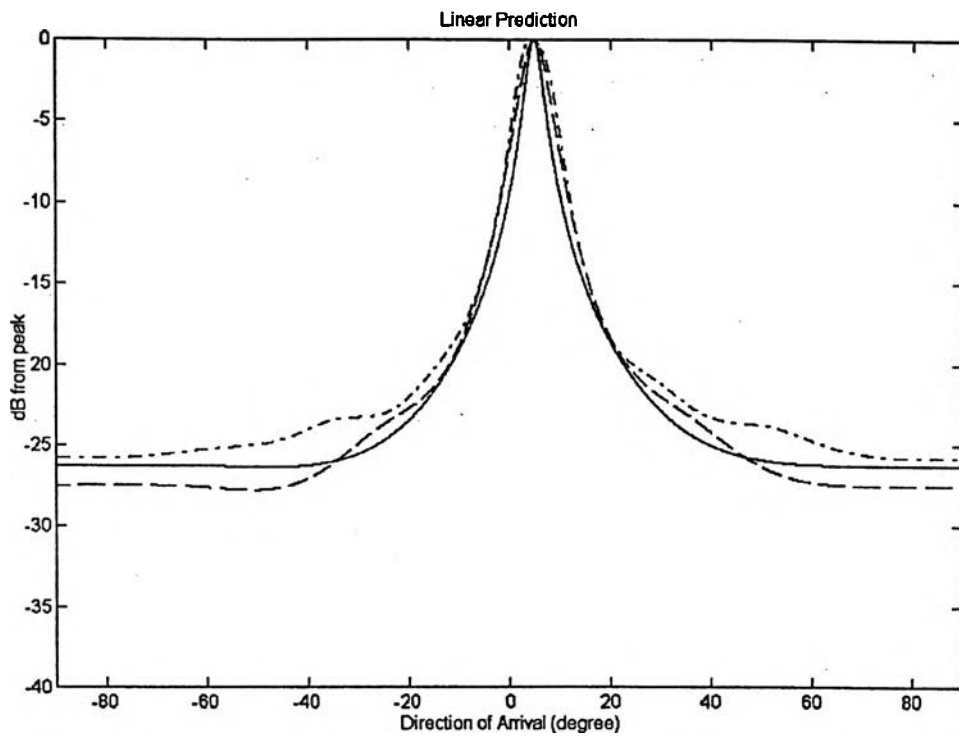
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2
ใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)

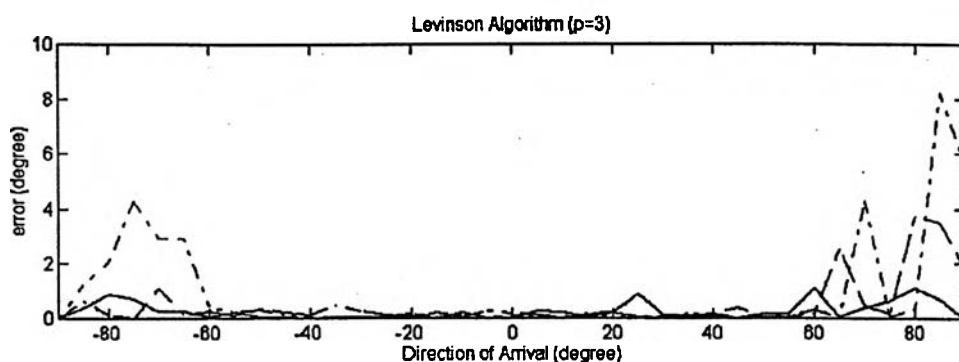


(c)

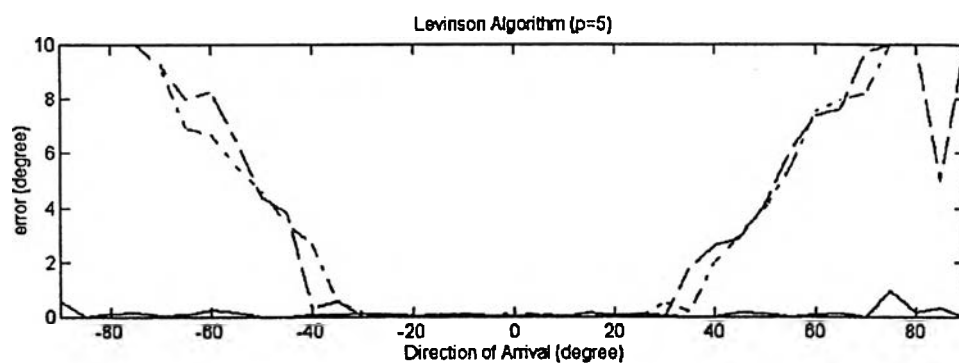
————— $p = 3$
 - - - - - $p = 5$
 - · - · - $p = 7$

- รูปที่ 4.28 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ $p = 3, 5$ และ 7
- สัญญาณไชนูซอยด์
 - สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
 - สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

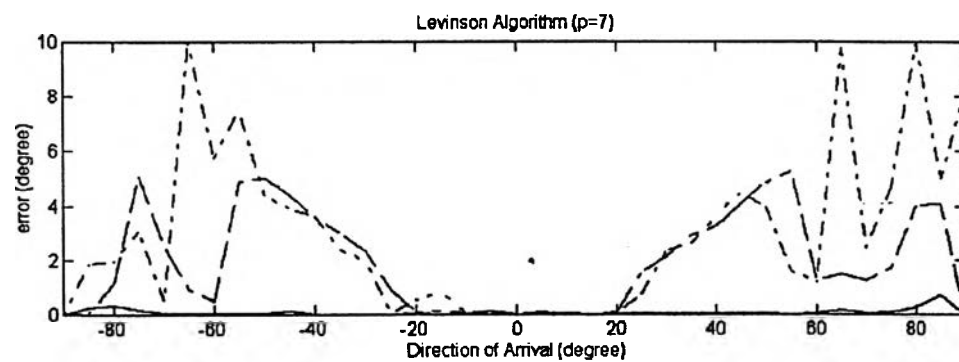
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 1 ใช้ Levinson Algorithm ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

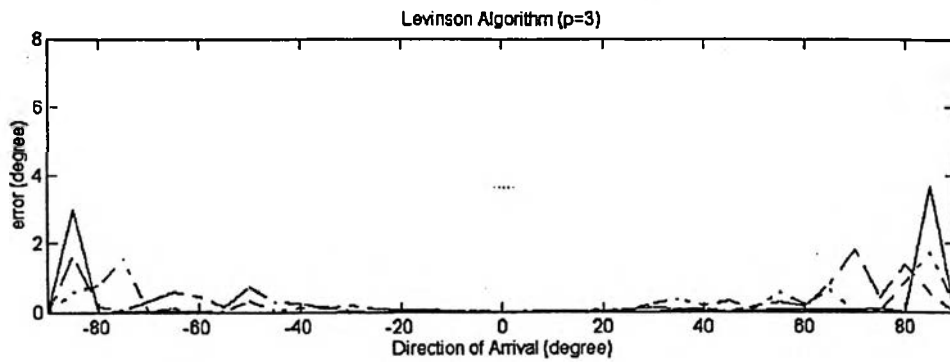


(c)

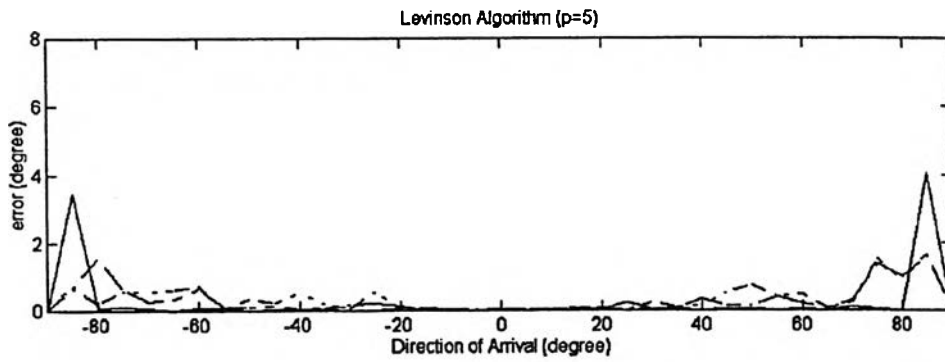
————— สัญญาณไขว้ชอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ ลักษณะที่ 1
 - สัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.29 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 1
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$

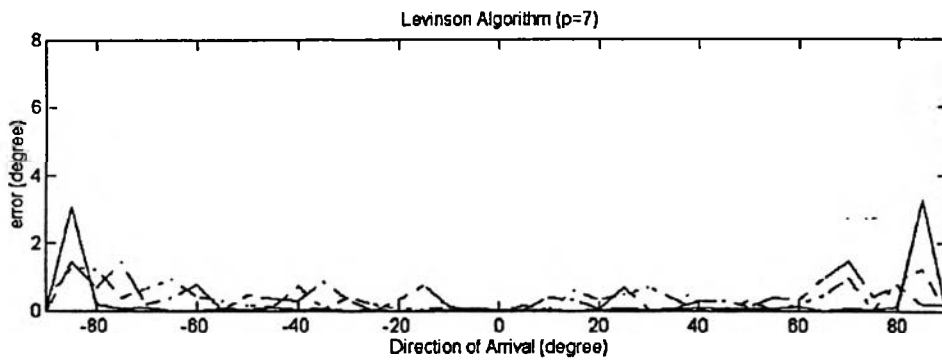
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พ้นระเชิงเส้น แบบที่ 2 ใช้ Levinson Algorithm ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

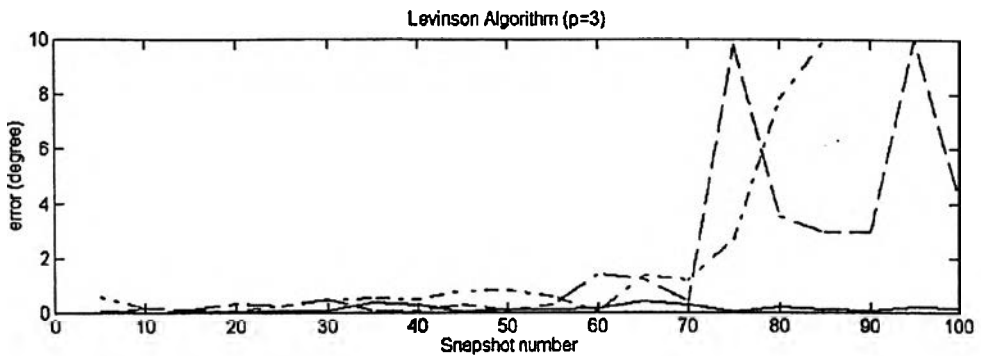


(c)

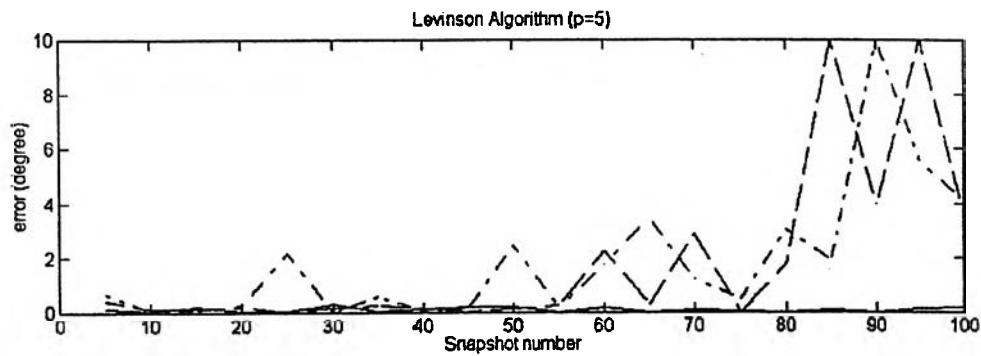
- สัญญาณไขว้ขอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.30 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพ้นระเชิงเส้น แบบที่ 2
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$

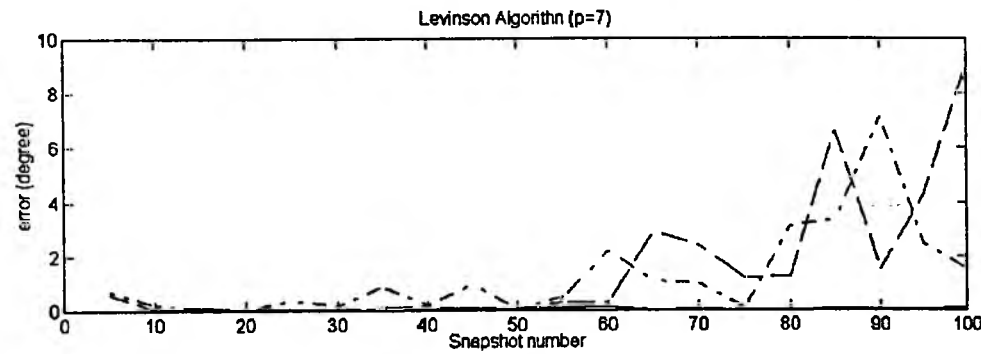
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 1 ช่วง 1 - 100 snapshot ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)

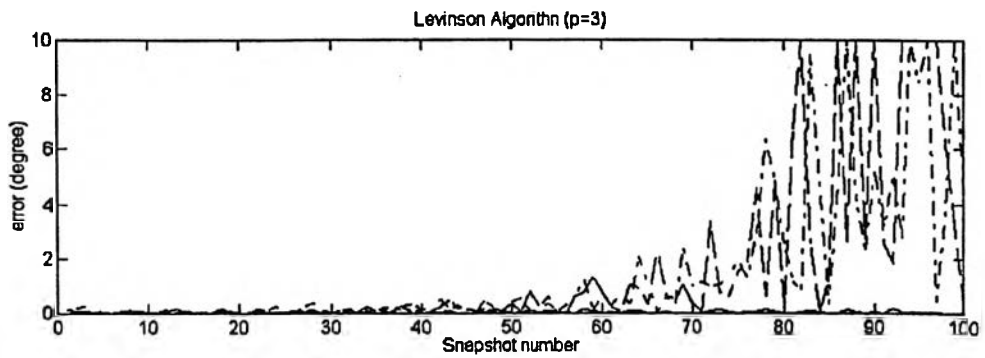


(c)

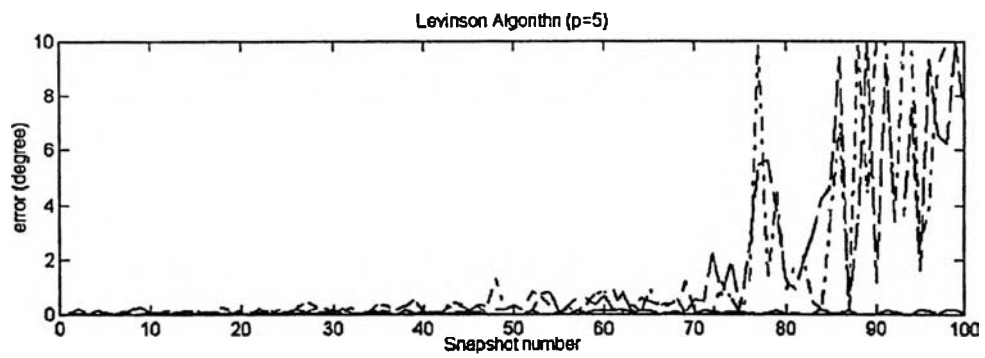
- สัญญาณไขวชอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.31 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 1
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ช่วง 1-100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ
 (c) $p = 7$

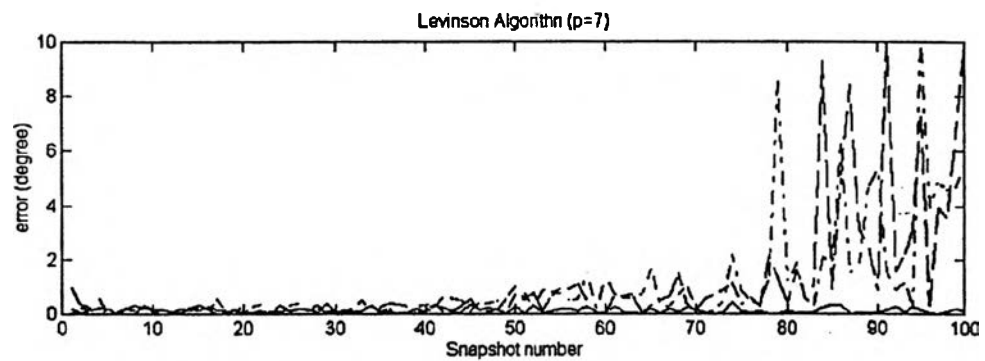
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น แบบที่ 2 ช่วง 1-100 snapshot ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไขวชอยด์
- สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.32 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น แบบที่ 2
 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ช่วง 1-100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$
 และ (c) $p = 7$

4.4.2 วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Burg Algorithm

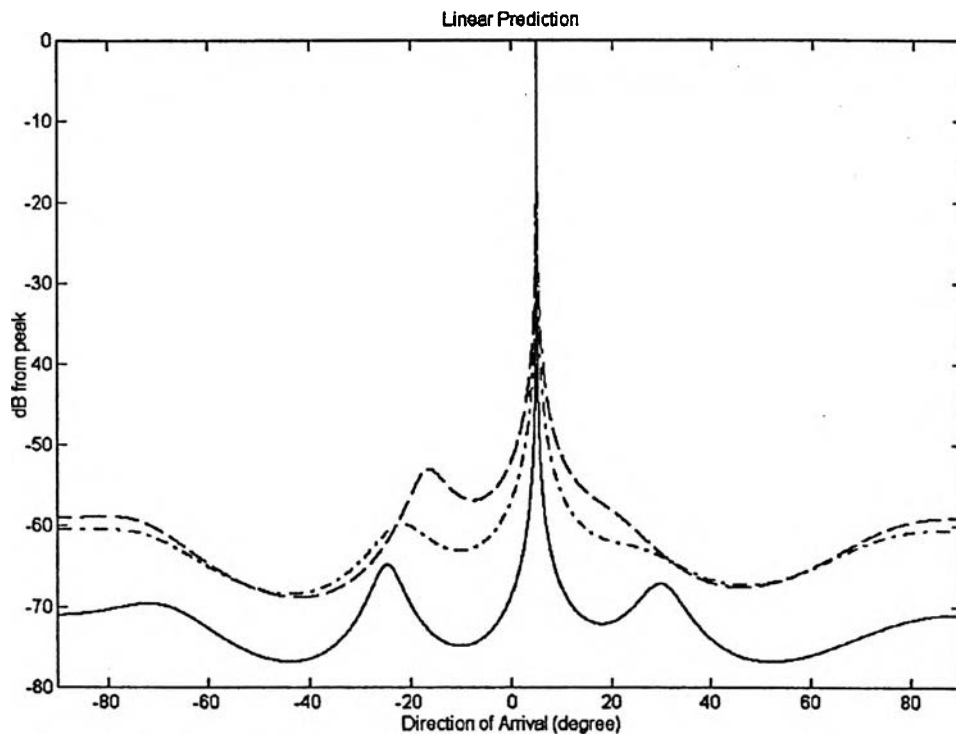
ผลการทดสอบที่ 4.10 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ใช้ Burg Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น

รูปที่ 4.33 , 4.34 และ 4.35 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จาก Burg Algorithm นำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณไชนูซอยด์ และ สัญญาณไชนูซอยด์แบบแบบพัลส์ ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มีมุมทิศ $DOA = 5^\circ, -5^\circ$ และ 35° ตามลำดับ จะเห็นว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ค่ามุมทิศที่ได้มาจากการทดสอบ ในกรณีที่เป็นสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เป็นสัญญาณไชนูซอยด์

สำหรับตารางที่ 4.3a ถึง 4.3f จะเป็นตารางผลการทดสอบเปรียบเทียบ การหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ในการประมาณหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น ใช้ Burg Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ในแต่ละ snapshot เมื่อแหล่งกำเนิดสัญญาณมีมุมทิศในกรณีแตกต่างกันออกไป โดยทำการทดสอบที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และ มุมทิศมีค่าสูง ทั้ง บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา จะพบว่า วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ได้ มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศใกล้เคียงกับสัญญาณไชนูซอยด์

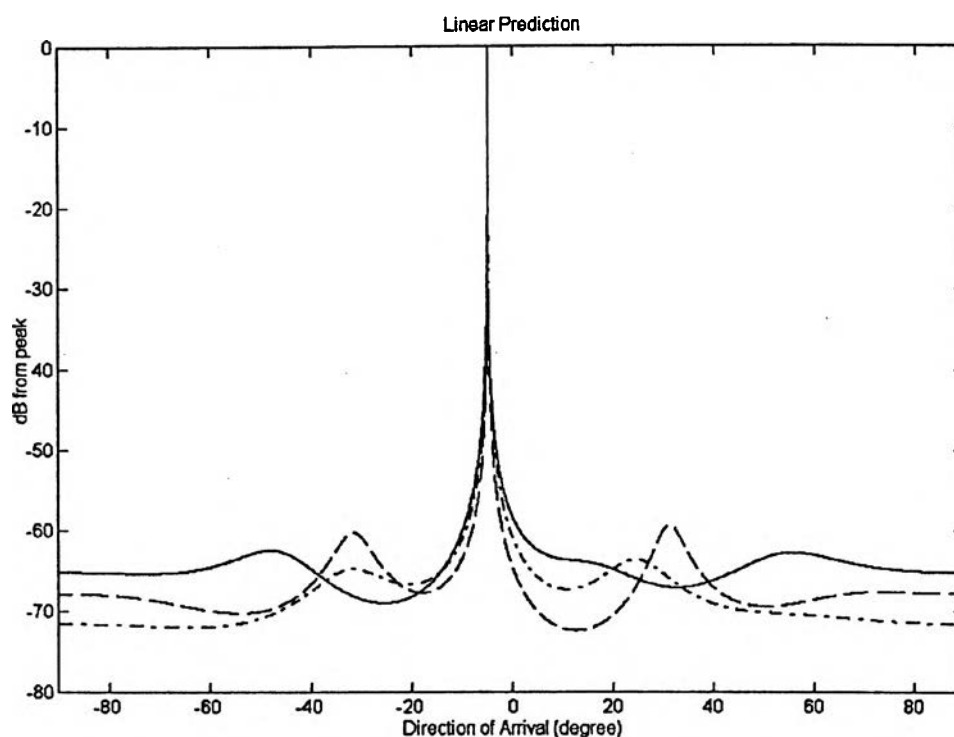
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีไม่ม
ทิศค่ามีค่าเป็นบวก $DOA = 5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไชนูซอยด์
- สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.33 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไชนูซอยด์ และ สัญญาณ
ไชนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น ที่ $DOA = 5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่า
สัมประสิทธิ์อันดับที่ 4

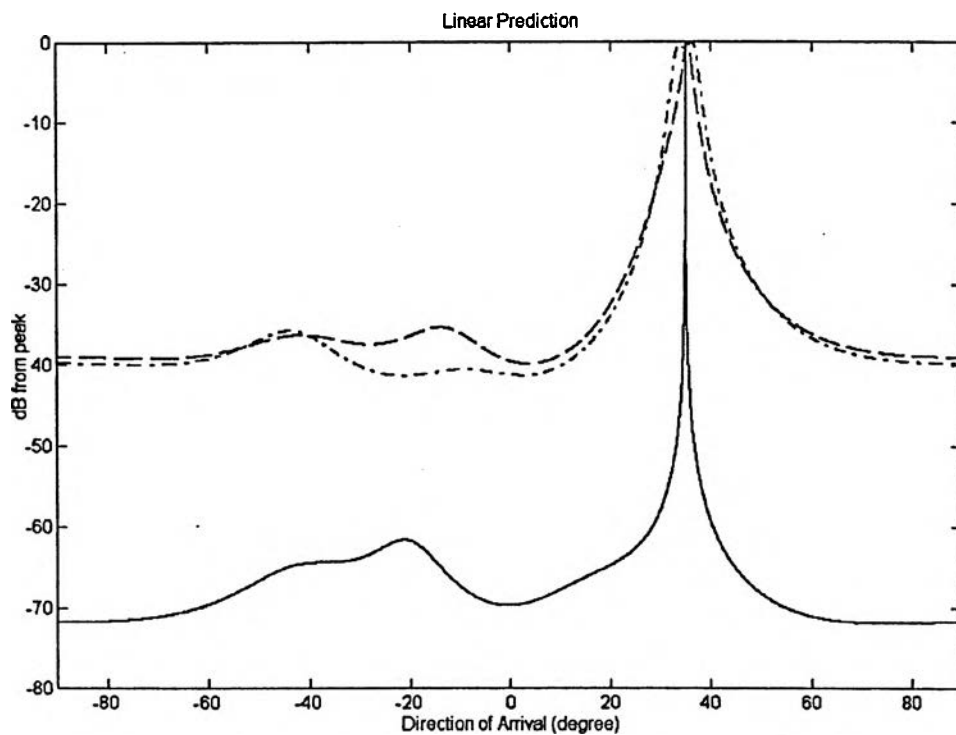
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีมุมทิศทางมีค่าเป็นลบ $DOA = -5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไซนูซอยด์
- สัญญาณพหุคูณเชิงเส้น ลำดับที่ 1
- . - . - . สัญญาณพหุคูณเชิงเส้น ลำดับที่ 2

รูปที่ 4.34 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณไซนูซอยด์แบบพหุคูณ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น ที่ $DOA = -5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น กรณีมุมทิศทางกลางมีค่าเป็นบวก $DOA = 35^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4



- สัญญาณไชนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.35 สเปกตรัมการเปรียบเทียบ การหาทิศทางแหล่งกำเนิดสัญญาณของ สัญญาณไชนูซอยด์ และ สัญญาณไชนูซอยด์แบบพัลส์ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น ที่ $DOA = 35^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4

ตารางที่ 4.3a ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
0	0.0020	0.0000	0.0025
5	4.9920	5.0185	4.9890
10	10.0065	9.9565	9.9535
15	14.9895	15.0100	14.9430
20	19.9735	19.9120	20.0120
25	25.0150	24.9610	25.1020
30	29.9820	29.6340	29.7830

ตารางที่ 4.3b ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
35	34.9670	35.2345	35.2395
40	40.0070	39.9240	39.9870
45	44.9840	45.9620	45.9375
50	49.9780	49.8075	49.3750
55	54.9640	54.6425	54.4570
60	60.0065	60.0060	59.4355

ตารางที่ 4.3c ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
65	64.9500	63.5725	65.1525
70	70.0335	67.3645	68.8955
75	74.9560	74.2475	74.2905
80	79.9820	78.3105	79.96645
85	85.2085	85.4370	84.3325
90	90.0000	90.0000	90.0000

ตารางที่ 4.3d ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-5	-4.9955	-4.9830	-5.0195
-10	-9.9885	-9.9570	-10.0585
-15	-15.0195	-14.9950	-15.0690
-20	-19.9745	-19.8500	-19.9675
-25	-24.9595	-24.8535	-24.6255
-30	-30.0040	-29.8840	-30.2370

ตารางที่ 4.3e ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-35	-35.0170	-35.5755	-34.6040
-40	-39.9835	-39.9770	-40.3700
-45	-45.0080	-45.5950	-44.5190
-50	-49.9915	-50.0915	-49.5670
-55	-54.9800	-55.0240	-55.6920
-60	-59.9830	-60.3545	-59.4895

ตารางที่ 4.3f ค่าเฉลี่ยการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิง
เส้นเมื่อใช้ Burg Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-65	-64.9965	-64.7890	-63.4140
-70	-70.0075	-67.0010	-70.1610
-75	-75.0670	-73.5050	-73.1610
-80	-80.0355	-80.1270	-78.9495
-85	-85.0095	-82.5725	-84.3855
-90	-90.0000	-90.0000	-90.1430

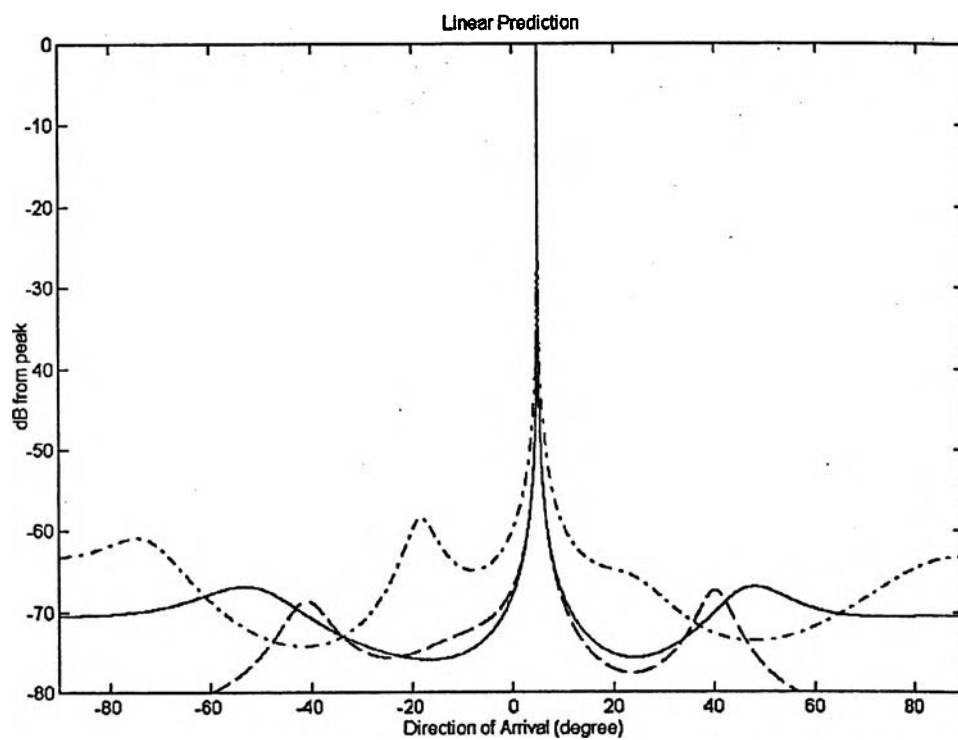
ผลการทดสอบที่ 4.11 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24
ชุด

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น

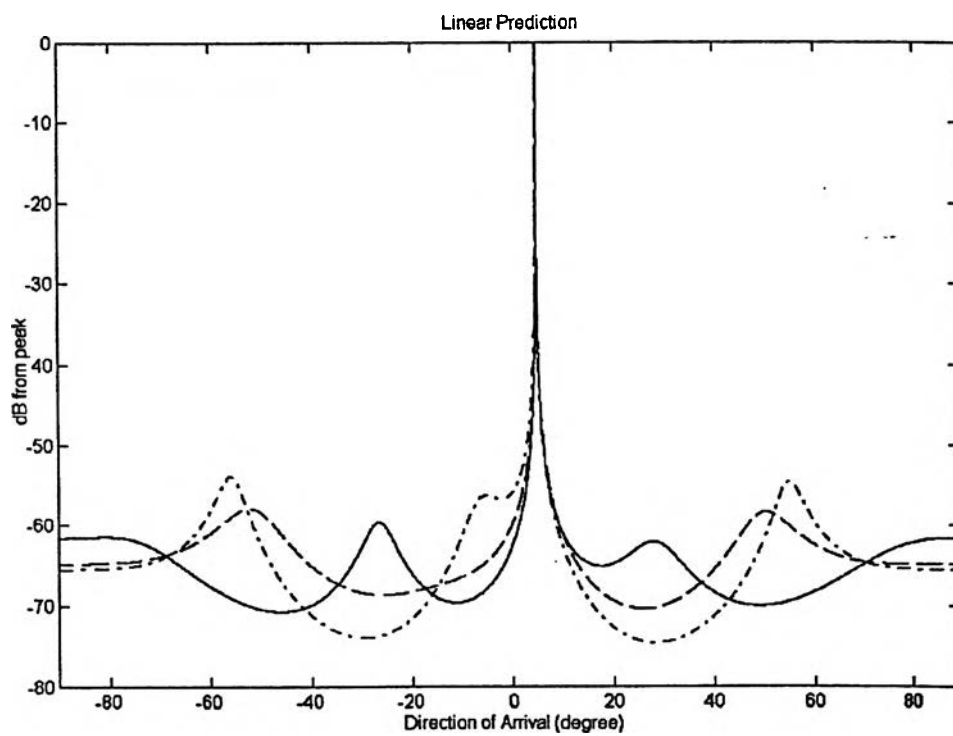
รูปที่ 4.36 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบใช้สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ในการออกแบบระบบเครื่องทาคิศทาง กำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.36a กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ , รูปที่ 4.36b กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.36c กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีค่าไม่ต่างกัน และเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมของสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm สำหรับการเลือกใช้สายอากาศจำนวน $m = 8, 16$ และ 24 ชุด จะมีความละเอียดใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.37 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$) ที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ มีมุมทิศที่กรณีแตกต่างกัน ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้ง บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.37a กรณี $m = 8$, รูปที่ 4.37b กรณี $m = 16$ และ รูปที่ 4.37c กรณี $m = 24$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่ต่างกัน มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ และ มุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีความคลาดเคลื่อนของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีมุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี สัญญาณไซนูซอยด์

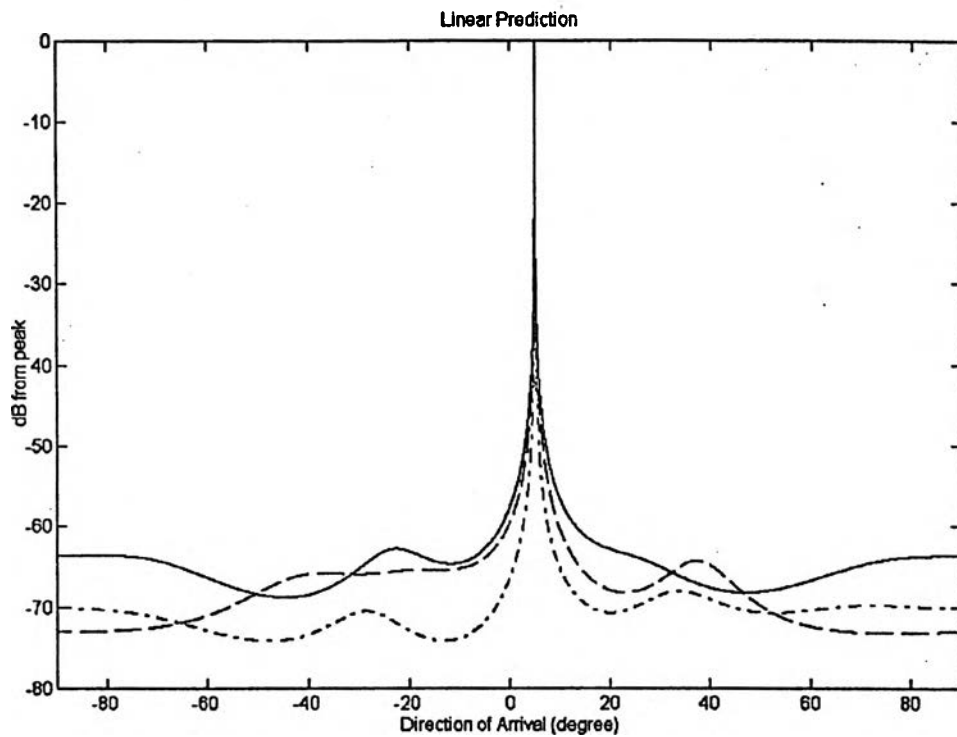
ตัวอย่าง การเลือกใช้สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ด้วย วิธีการประมาณพื้นที่เชิงเส้น ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



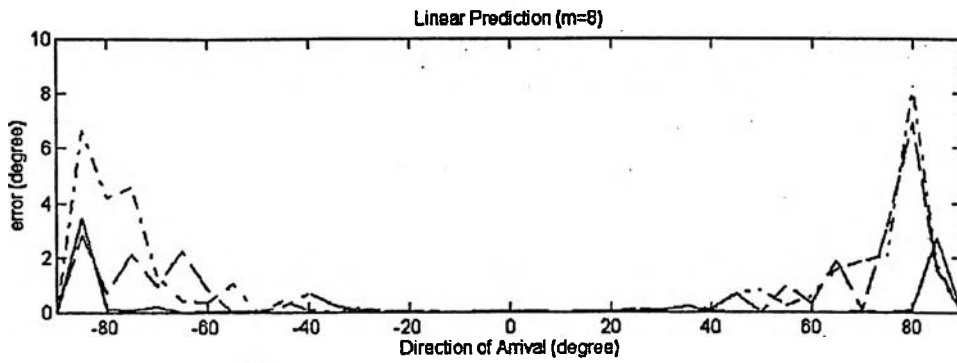
(c)

————— $m = 24$ ชุด
 - - - - - $m = 16$ ชุด
 - . - . - $m = 8$ ชุด

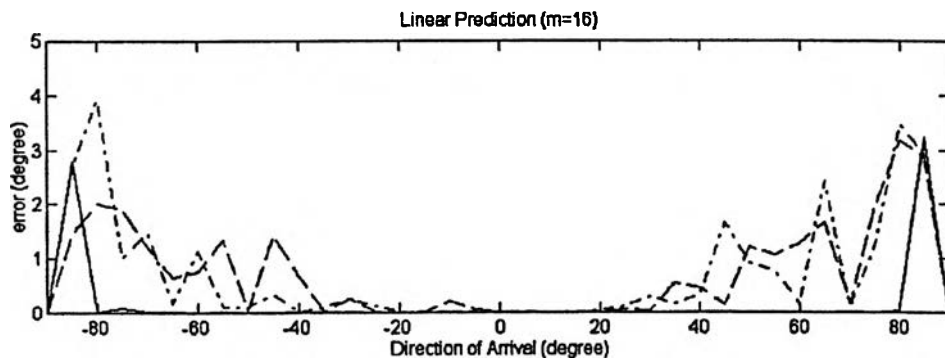
รูปที่ 4.36 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm อันดับที่ 4 จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด

- (a) สัญญาณไอโซซออยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไอโซซออยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไอโซซออยด์ ลักษณะที่ 2

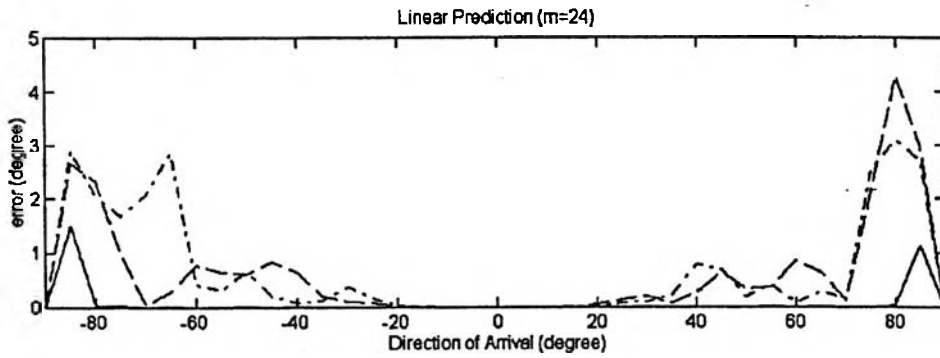
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พ้นระเชิงเส้น ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไขวชอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - . สัญญาณพัลส์ไขวชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.37 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพ้นระเชิงเส้น เมื่อใช้
 Burg Algorithm ที่สายอากาศมีค่า (a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด

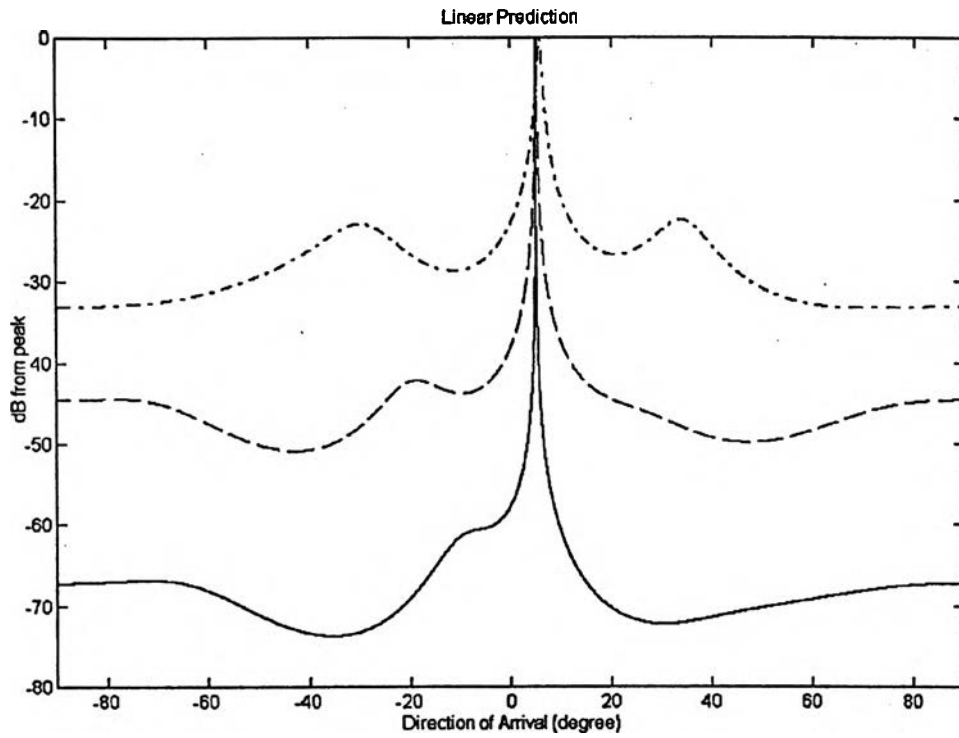
ผลการทดสอบที่ 4.12 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ที่ สัญญาณรบกวนมีค่า
SNR = 10 , 20 และ 30 db

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการ
สร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะ
ที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ
มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR = 10 , 20
และ 30 dB , ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ซักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot
ใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ
ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

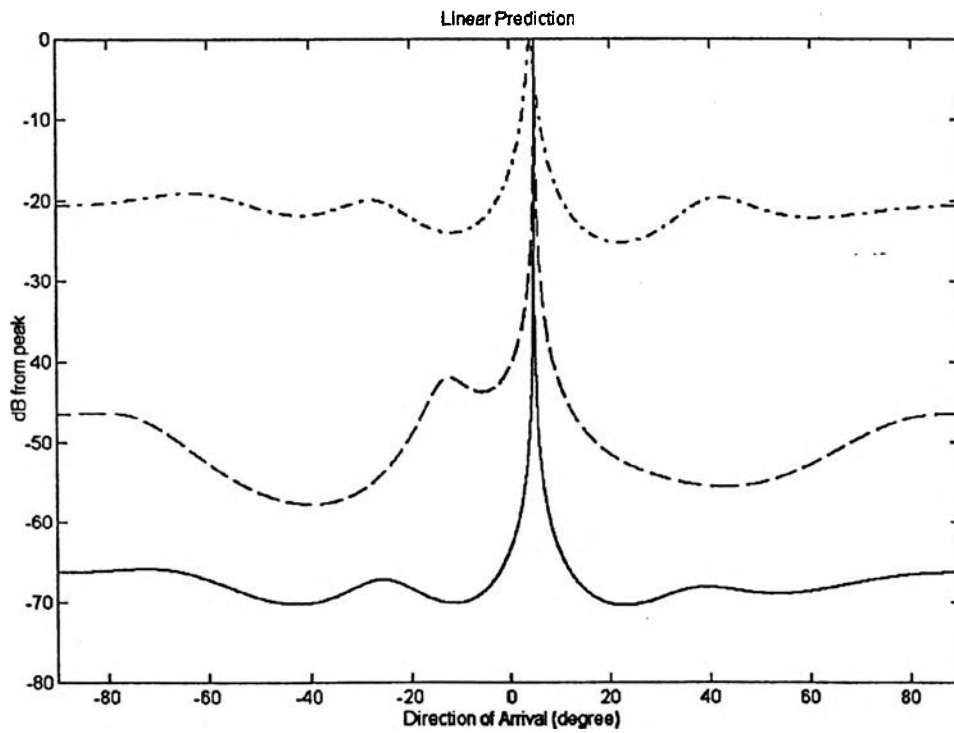
รูปที่ 4.38 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการ
ประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อสัญญาณรบกวน
ที่เกิดขึ้นในระบบ มีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.38a กรณี
สัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.38b กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.38c กรณีสัญญาณ
พัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศ
ทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีลักษณะที่ไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี และจากการทดสอบจะพบว่า สำหรับ
สเปกตรัมของสัญญาณจากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นใช้ Burg Algorithm ถ้ากรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นใน
ระบบมีมาก หรือ มีค่า SNR ต่ำ (10 dB) การหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จะมีโอกาสเกิดความ
ผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า กรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีน้อย หรือ มีค่า SNR สูงกว่า (20, 30 dB)
และ ค่ามุมทิศจะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีน้อย หรือ มีค่า SNR
= 30 dB

รูปที่ 4.39 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$) ที่เกิดขึ้น
ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg
Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีมุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ทั้ง บวก และ
ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.39a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.39b กรณี SNR =
20 dB และรูปที่ 4.39c กรณี SNR = 10 dB จากการทดสอบจะพบว่า ในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ จะมีค่าความคลาด
เคลื่อนของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณี
สัญญาณไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง และ
มุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีสัญญาณไชนูซอยด์

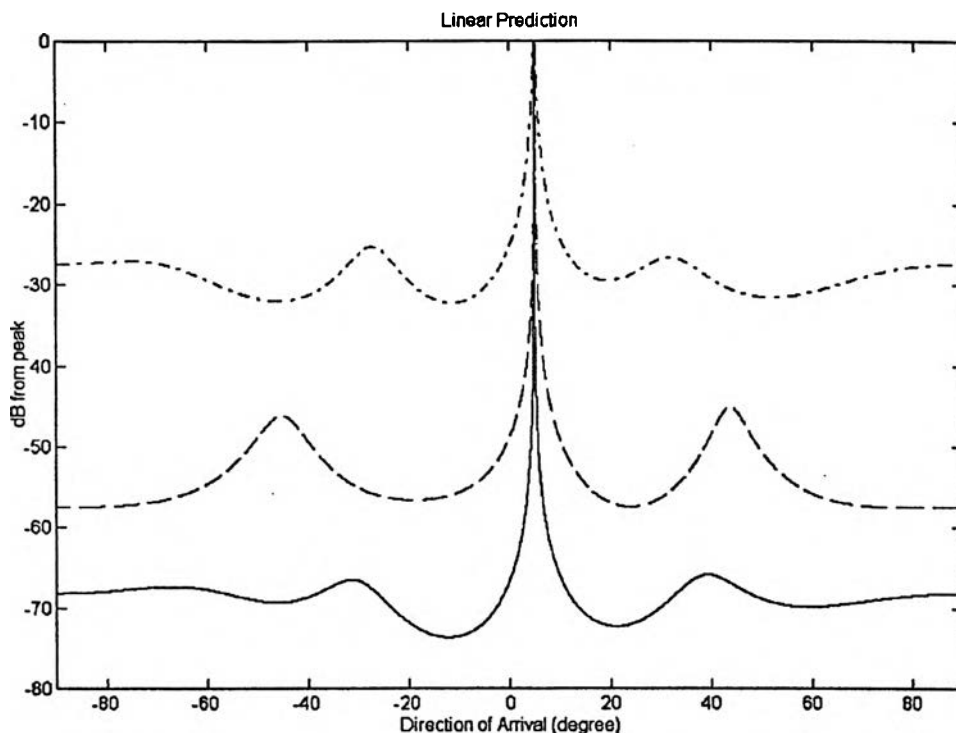
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10 , 20 และ 30 dB ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



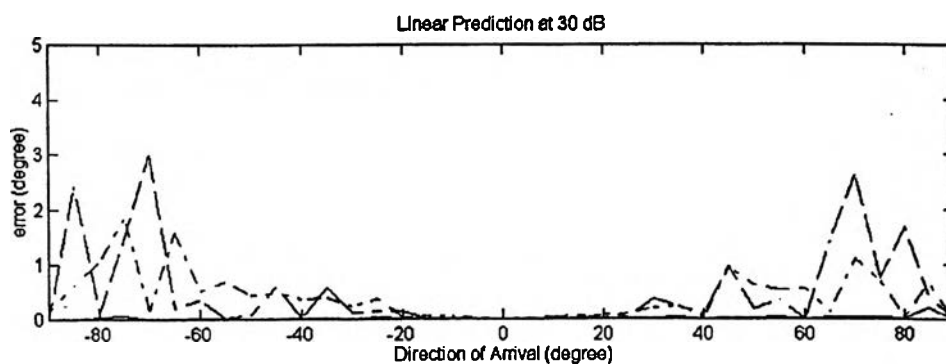
(c)

- SNR = 30 dB
- SNR = 20 dB
- . - . - SNR = 10 dB

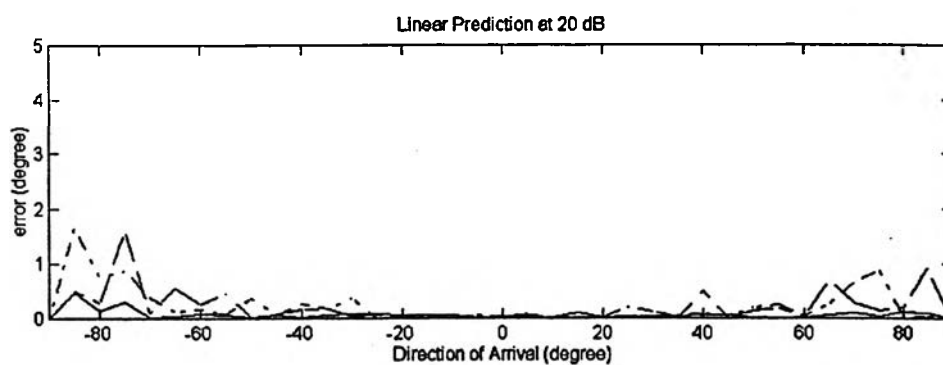
รูปที่ 4.38 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Burg Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

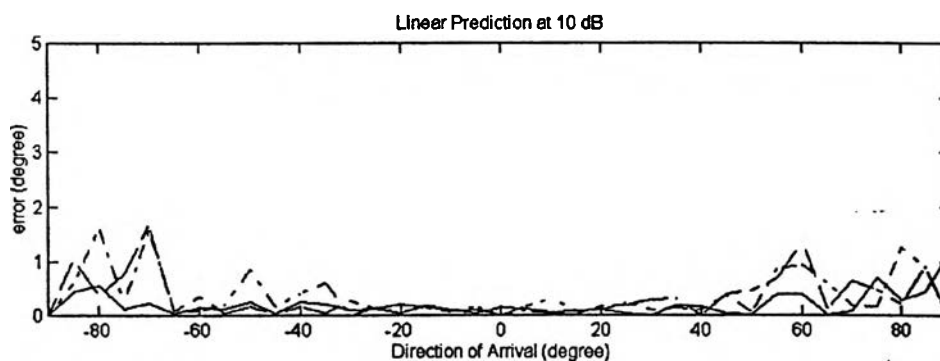
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พ้นระยะเชิงเส้น เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

————— สัญญาณไซนูซอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
 - · - · - · สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.39 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพ้นระยะเชิงเส้น เมื่อใช้

Burg Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

ผลการทดสอบที่ 4.13 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์
วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ในช่วงสัญญาณที่ต่างกัน

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 10, 20$ และ 30 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกัน ใช้ Burg Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ในแต่ละ snapshot ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

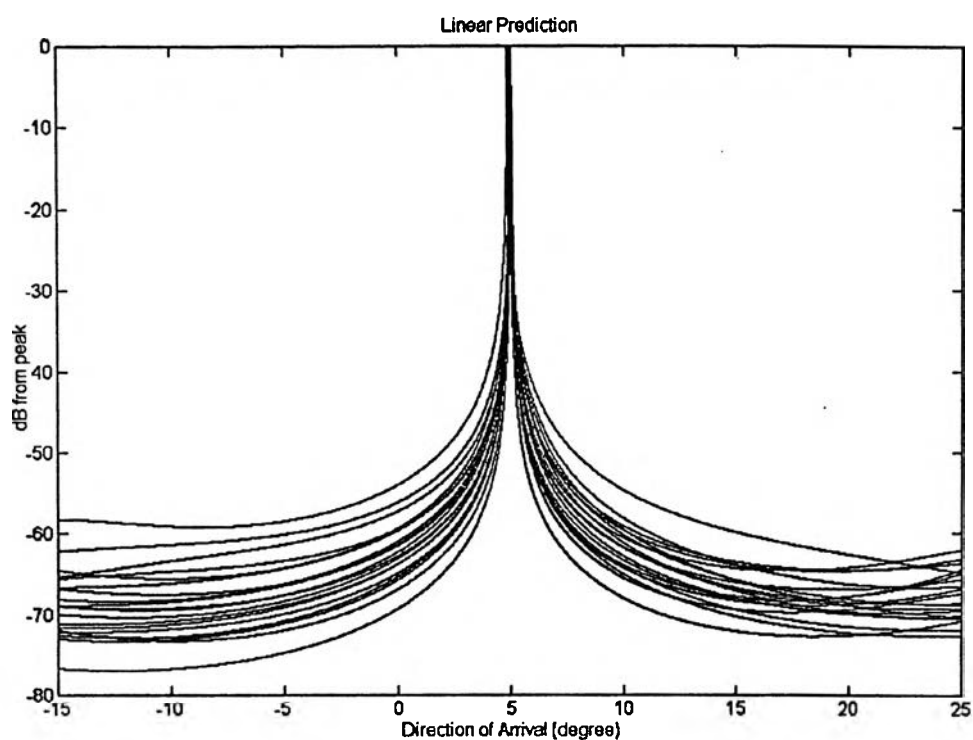
รูปที่ 4.40 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 20$ snapshot ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.40a กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.40b กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.40c กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ จุดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะนำมาประมาณหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการหาค่ามุมทิศทางเฉลี่ย จากการทดสอบจะพบว่า ในกรณีสัญญาณไชนูซอยด์ เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวนมาก (N มีค่ามาก) ค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้จากค่ามุมทิศทางในแต่ละ snapshot ก็จะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางน้อยกว่า การชักตัวอย่างสัญญาณน้อย (N มีค่าน้อย) และในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีมากหรือค่า SNR ต่ำ ค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวนมาก จะมีความแม่นยำมากกว่า ค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้จากการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวนน้อย สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีสัญญาณไชนูซอยด์ แต่ค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้มาจากค่ามุมทิศทางในแต่ละ snapshot จะต้องใช้การชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่เกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 4.41 , 4.42 และ 4.43 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นแต่ละ snapshot เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot โดยทำการทดสอบประมาณค่าทิศทาง ที่ $DOA = 5^\circ$ จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ และ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ โดยกำหนดให้

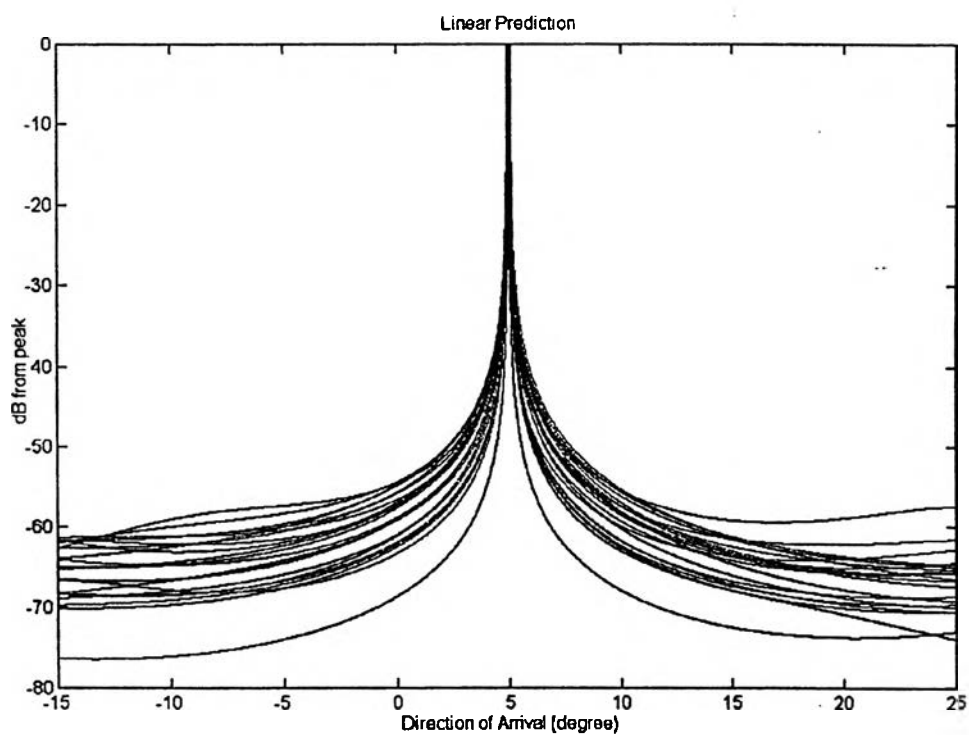
- รูปที่ 4.41 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 8$ กำหนดให้ รูปที่ 4.41a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.41b กรณี SNR = 20 dB และรูปที่ 4.41c กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.42 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 16$ กำหนดให้ รูปที่ 4.42a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.42b กรณี SNR = 20 dB และรูปที่ 4.42c กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ
- รูปที่ 4.43 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 24$ กำหนดให้ รูปที่ 4.43a กรณี SNR = 30 dB , รูปที่ 4.43b กรณี SNR = 20 dB และรูปที่ 4.43c กรณี SNR = 10 dB ตามลำดับ

จากการทดสอบจะพบว่า การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ พันธ์เชิงเส้นจาก Burg Algorithm ในกรณีของสัญญาณไซนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นใน แต่ละ snapshot จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่า ความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะไม่แตกต่างกันในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น และค่า ความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพัลส์ของสัญญาณจางหายไป

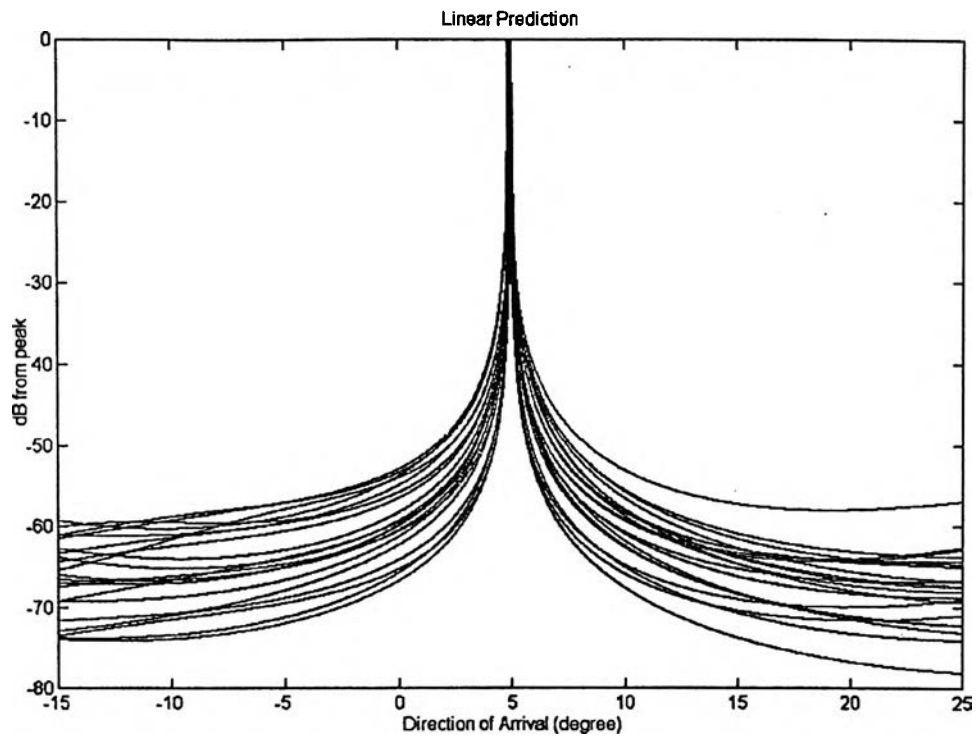
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ที่ $DOA = 5^\circ$ เมื่อ $N = 20$ snapshot



(a)



(b)

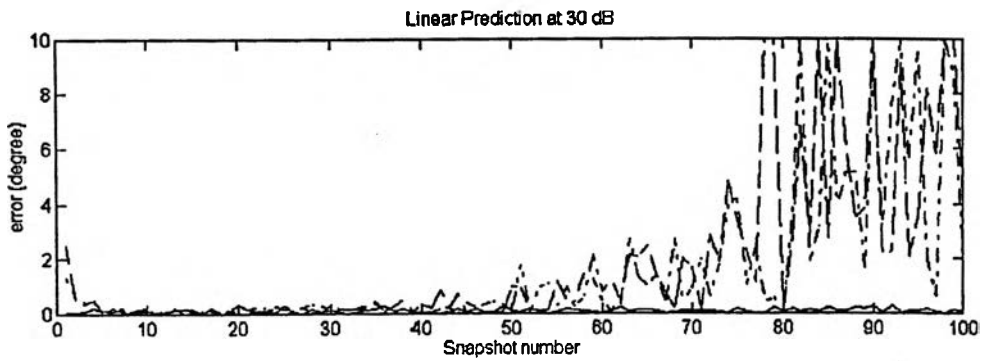


(c)

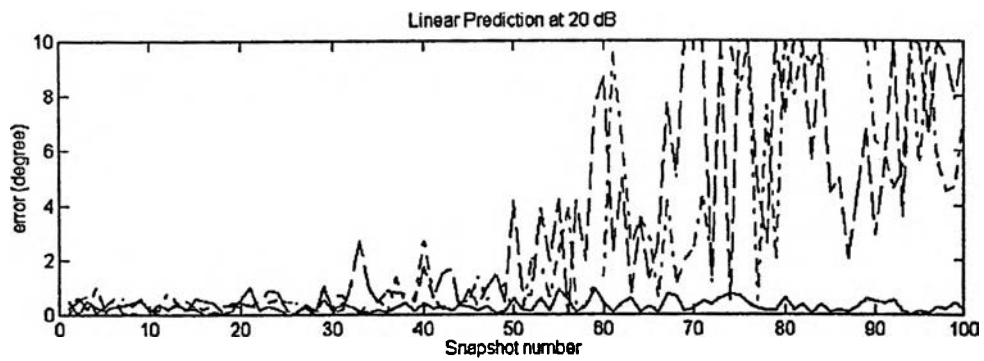
รูปที่ 4.40 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Burg Algorithm เมื่อ $N = 20$ snapshot

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

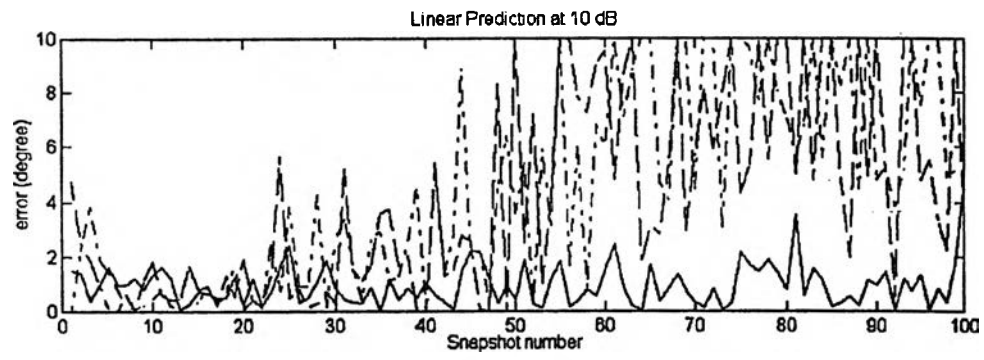
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



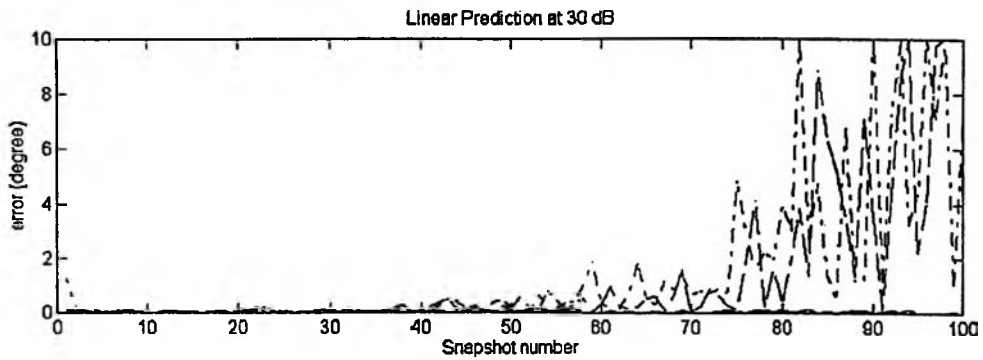
(c)

————— สัญญาณไซนูซอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
 สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

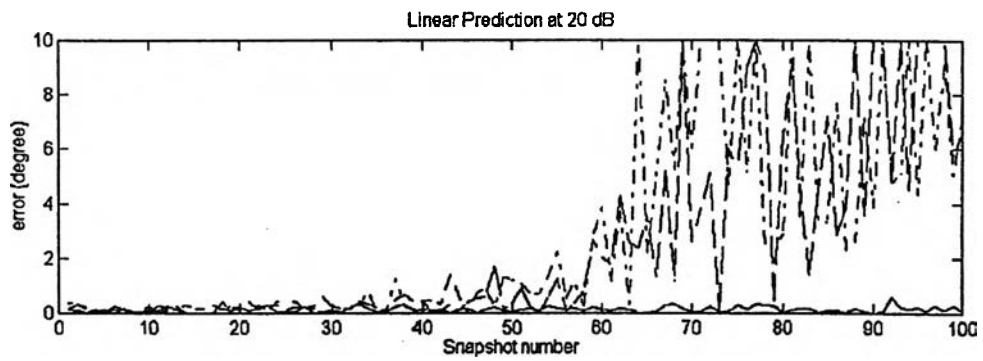
รูปที่ 4.41 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น เมื่อใช้

Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

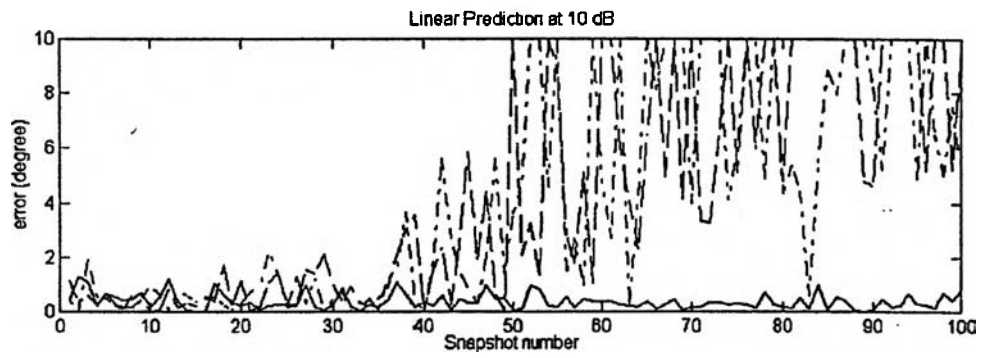
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พ้นระเชิงเส้น จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



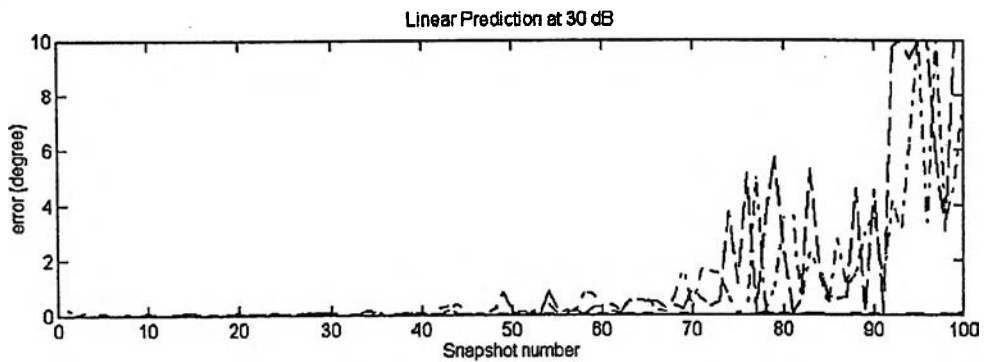
(c)

- สัญญาณไซนัสชอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - . สัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ ลักษณะที่ 2

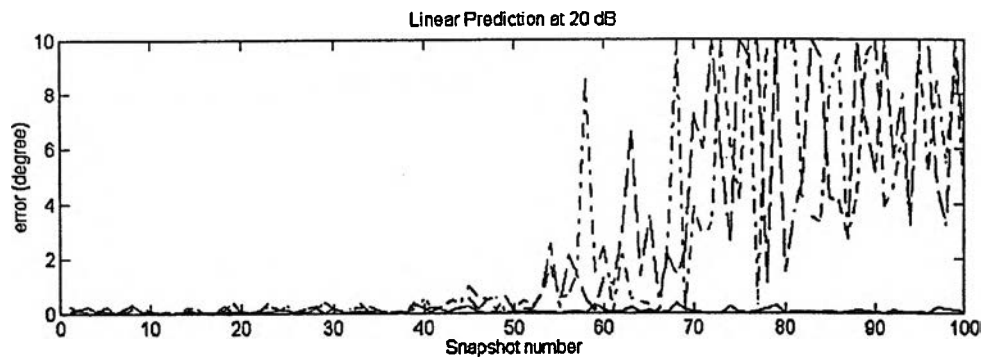
รูปที่ 4.42 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพ้นระเชิงเส้น เมื่อใช้

Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB
 และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

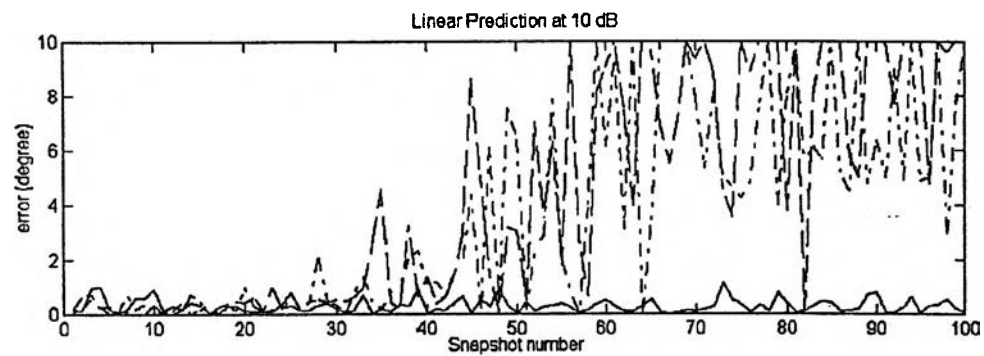
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB



(a)



(b)



(c)

————— สัญญาณไซนูซอยด์
 - - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
 - · - · - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.43 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางการของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้
 Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB
 และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา

ผลการทดสอบที่ 4.14 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7

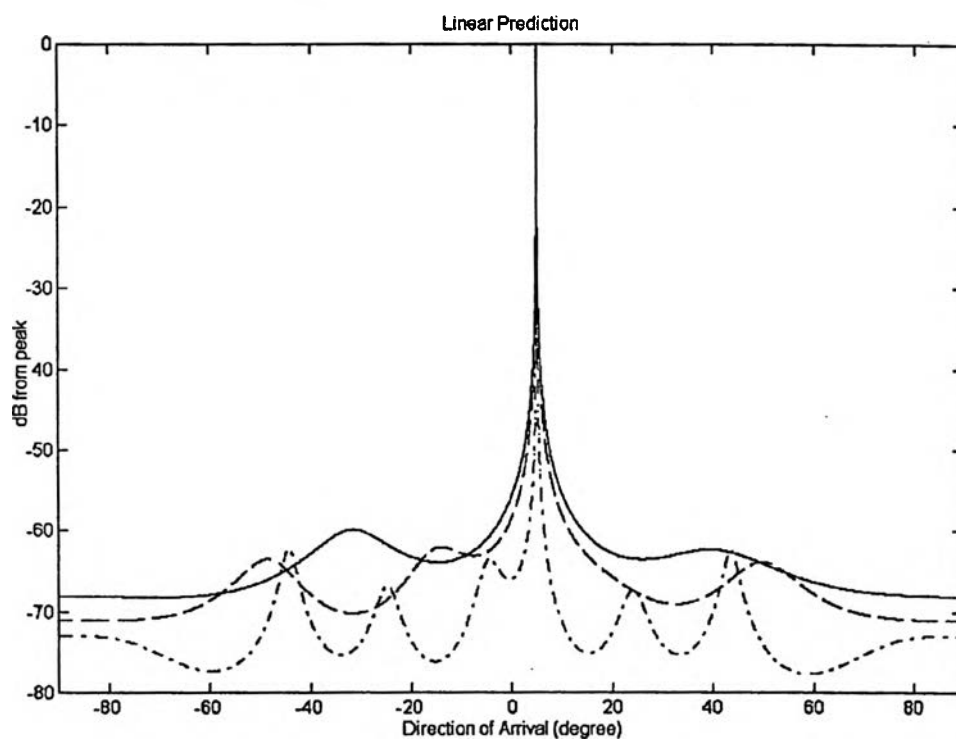
กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 30$ dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$, ซักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ snapshot ใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

รูปที่ 4.44 จะเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มาจากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อทำการทดสอบใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 มาประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ รูปที่ 4.44a กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.44b กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.44c กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ เห็นได้ว่า จุดสูงสุด (peak location) ของกราฟแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีลักษณะที่ไม่ต่างกันทั้ง 3 กรณี

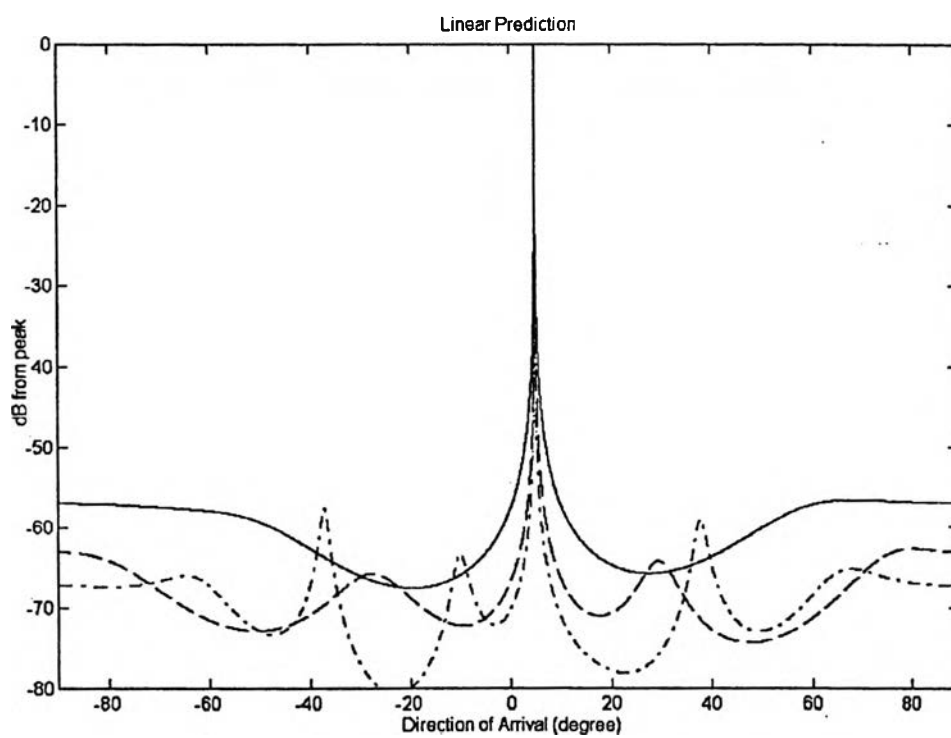
รูปที่ 4.45 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ย ($N = 20$ snapshot) ที่เกิดขึ้น ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ในกรณีแหล่งกำเนิดสัญญาณ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.45a กรณี $p = 3$, รูปที่ 4.45b กรณี $p = 5$ และ รูปที่ 4.45c กรณี $p = 7$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ในกรณีสัญญาณไชนูซอยด์การใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ต่างกัน จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศต่ำ และมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ โดยทั่วไปในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศต่ำมีค่าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มุมทิศมีค่าปานกลาง และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง

รูปที่ 4.46 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot เมื่อทำการชักตัวอย่างสัญญาณครั้งละ $N = 1$ snapshot ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg Algorithm สำหรับแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไซน์ซอชด์ และกรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชด์ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ โดยกำหนดให้ รูปที่ 4.46a กรณี $p = 3$, 4.46b กรณี $p = 5$ และ 4.46c กรณี $p = 7$ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ในกรณีสัญญาณไซน์ซอชด์ การเลือกใช้ Burg Algorithm หาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ต่างกัน จะมีค่าคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของสัญญาณ สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซน์ซอชด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพัลส์ของสัญญาณจางหายไป

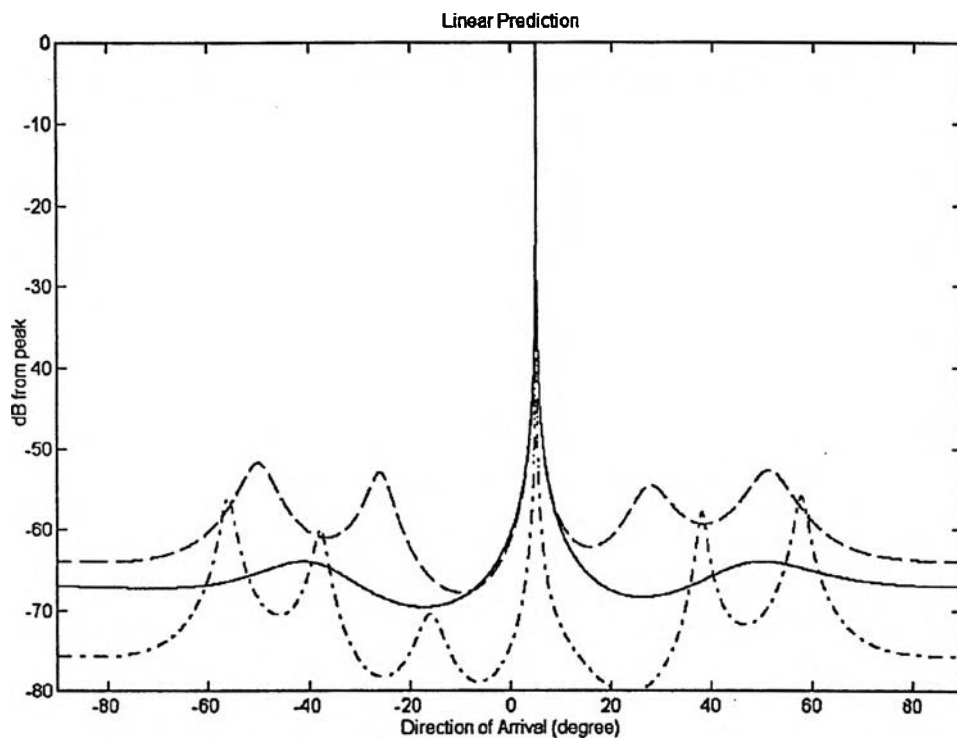
ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



(c)

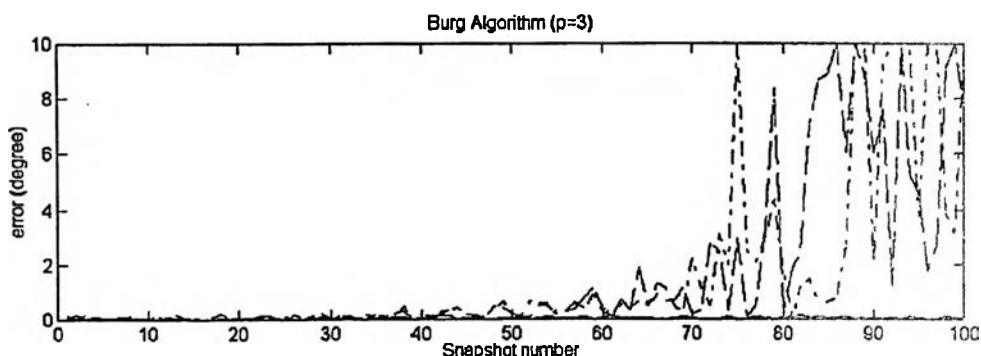
————— $p = 3$
 - - - - - $p = 5$
 - . - . - $p = 7$

รูปที่ 4.44 สเปกตรัมเปรียบเทียบ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก

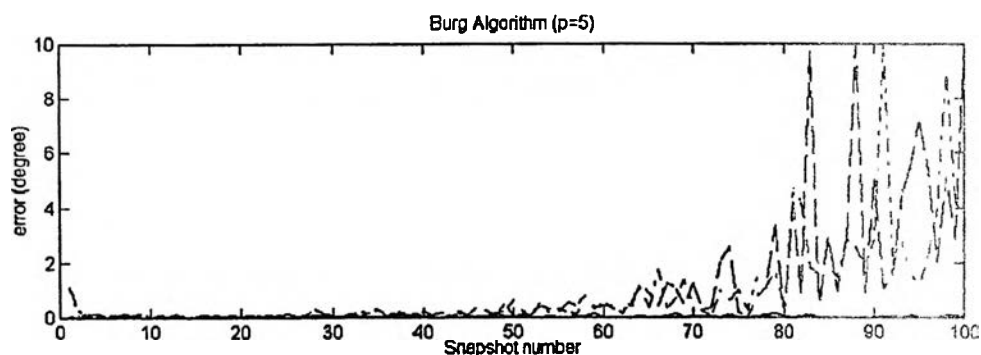
Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ $p = 3, 5$ และ 7

- (a) สัญญาณไซน์ชอยด์
- (b) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- (c) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

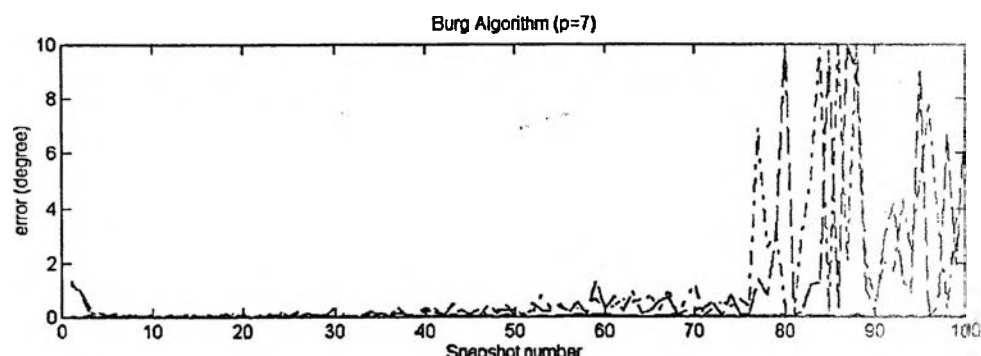
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีการประมาณ
 พันระเชิงเส้น ช่วง 1-100 snapshot ที่ $DOA = 5^\circ$



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.46 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันระเชิงเส้น เมื่อใช้
 Burg Algorithm ช่วง 1-100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$

4.5 การประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต เป็นวิธีการที่ใช้ในการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาของสัญญาณจริง เพื่อนำมาใช้หาสัญญาณวิเคราะห์ (Analytic Signal : $\psi(t)$) ซึ่งจะอยู่ในรูปของ $\psi(t) = u(t) + jv(t)$ กำหนดให้ $u(t)$ เป็น ส่วนจริงของสัญญาณ (real signal) และ $v(t)$ เป็น ผลการแปลงฮิลแบร์ตของ $u(t)$ กำหนดได้จากสมการที่ (2.22)

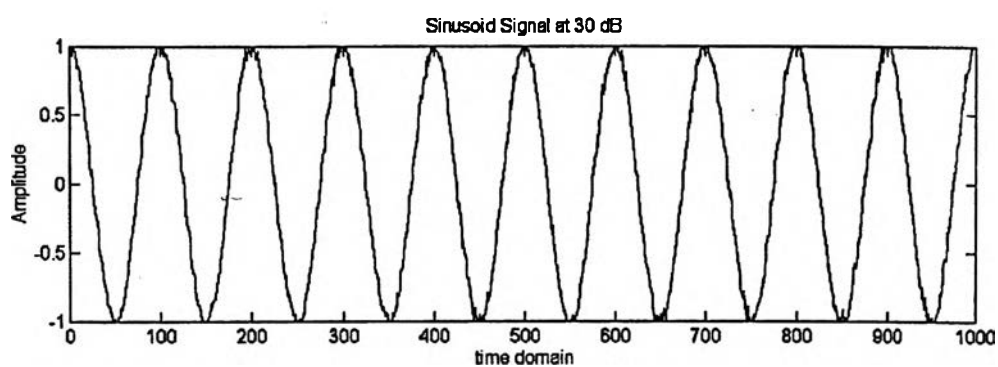
สัญญาณวิเคราะห์ที่มาจากผลการแปลงฮิลแบร์ตจะนำมาใช้หาค่าความถี่ขณะเวลาหนึ่ง (Instantaneous Frequency : $F(t)$) ด้วยการหาอนุพันธ์เวลา (time derivative) จากสมการที่ (2.26) และ (2.27) ซึ่งจะนำมาทำการทดสอบหาความถี่ใน กรณีของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ โดยเปรียบเทียบกับ กรณีของสัญญาณไซนูซอยด์ต่อไป

ผลการทดสอบที่ 4.15 กรณีเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

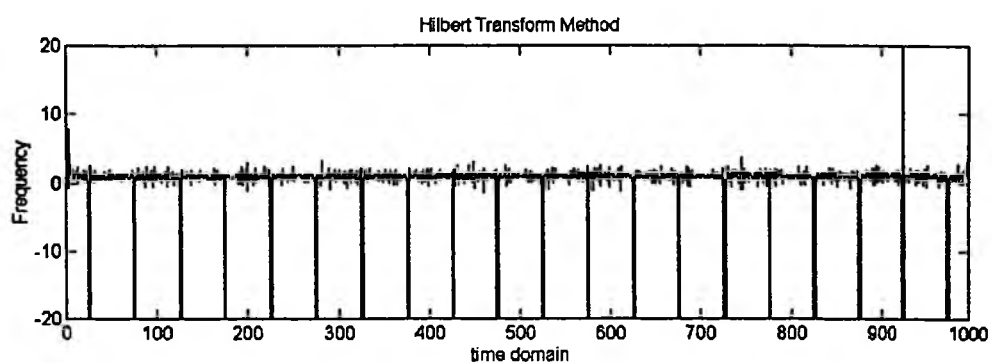
กำหนดให้ ค่าที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR = 30 dB มาทำการประมาณหาความถี่ (Frequency Estimate) ของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

รูปที่ 4.47 , 4.48 และ 4.49 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่สัญญาณที่ได้มาจากวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตกับรูปสัญญาณที่วัดค่าได้ของ รูปที่ 4.47 กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ , รูปที่ 4.48 กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.49 กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ตามลำดับ จากผลการทดสอบจะพบว่า การใช้วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตในกรณีของสัญญาณไซนูซอยด์จะนำมาหาค่าความถี่ของสัญญาณได้ และสำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ความถี่ของสัญญาณจะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะในช่วงที่สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์เกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น ซึ่งความถี่ของสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณลักษณะที่เป็น local สัญญาณ

ตัวอย่าง การประมาณหาคความถี่ของสัญญาณไซน์ชอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ที่ SNR = 30 dB



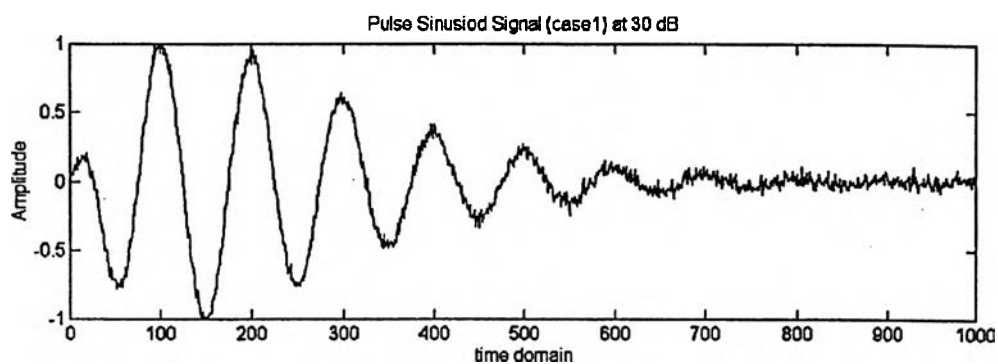
(a)



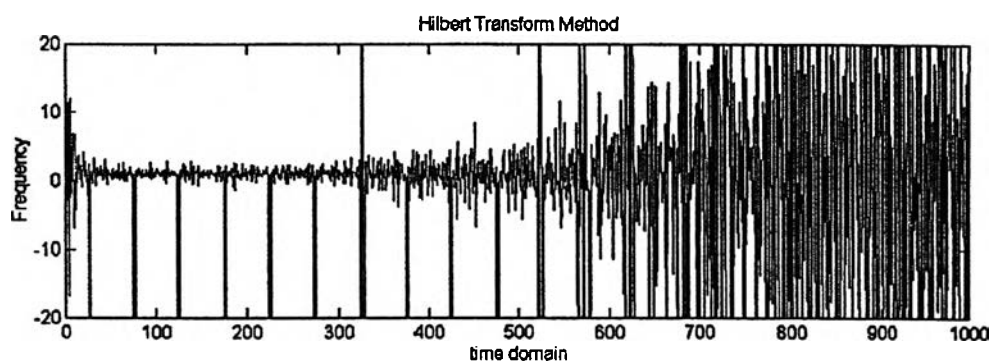
(b)

รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบการประมาณหาคความถี่ของสัญญาณไซน์ชอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต
(a) สัญญาณไซน์ชอยด์ ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

ตัวอย่าง การประมาณหาคความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต
ที่ SNR = 30 dB



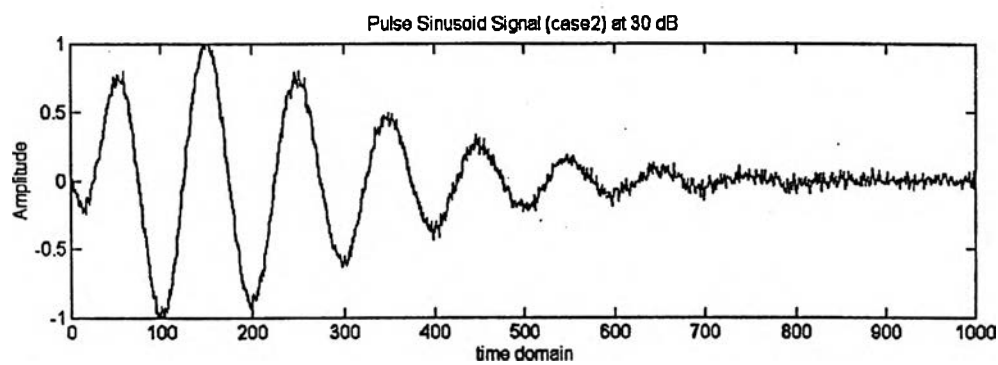
(a)



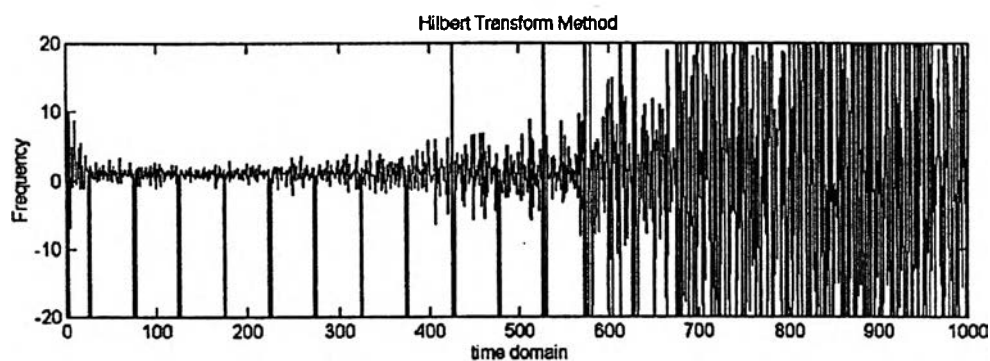
(b)

รูปที่ 4.48 การเปรียบเทียบการประมาณหาคความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 1 ด้วยวิธีผลการแปลง
ฮิลแบร์ต (a) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1 ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิล
แบร์ต

ตัวอย่าง การประมาณหาคความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต
ที่ SNR = 30 dB



(a)



(b)

รูปที่ 4.49 การเปรียบเทียบการประมาณหาคความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 2 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต (a) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต เมื่อข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ จากการชักตัวอย่างสัญญาณ (N) ในช่วงสัญญาณที่แตกต่างกันจากสายอากาศ (m) สามารถทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตในเชิงระยะทาง ด้วยการนำข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ ในแต่ละ snapshot มาทำการหาผลการแปลงฮิลเบิร์ตเพื่อหาสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทางก่อน แล้วจึงนำมาหาค่าอนุพันธ์ของสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทาง ซึ่งก็จะเป็น ค่าผลต่างของเฟส (phase difference) ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ย

แบบที่ 2 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตในเชิงเวลา ด้วยการนำข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณจากสายอากาศแต่ละตัว มาทำการหาผลการแปลงฮิลเบิร์ตเพื่อหาสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงเวลาก่อน แล้วจึงนำมาหาค่าอนุพันธ์ของสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทาง ซึ่งก็จะเป็น ค่าผลต่างของเฟส (phase difference) ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ย

ผลการทดสอบที่ 4.16 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต

กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 50$ dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$ ทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตได้ ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของสัญญาณวิเคราะห์ที่ได้มาด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตจากข้อมูลการ snapshot สัญญาณที่วัดได้ในแต่ละครั้งจากสายอากาศซึ่งก็จะเป็นค่าผลต่างของเฟส (phase difference) ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

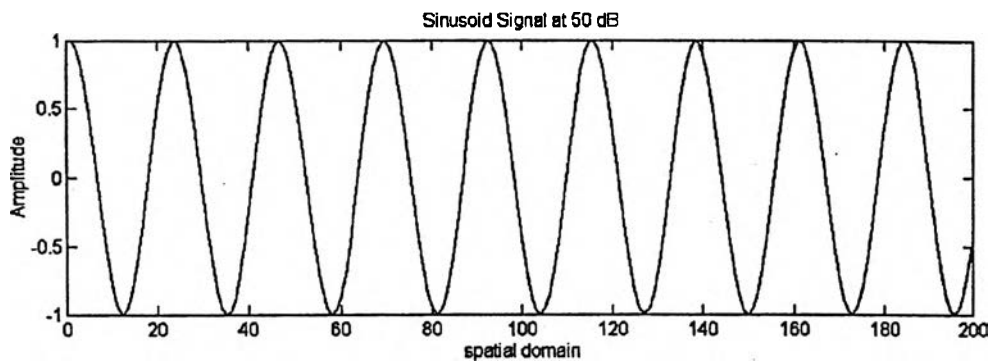
รูปที่ 4.50 , 4.51 และ 4.52 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ที่ได้มาจากวิธีผลแปลงฮิลเบิร์ตกับรูปสัญญาณที่วัดค่าได้ของ รูปที่ 4.50 กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ , รูปที่ 4.51 กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ รูปที่ 4.52 กรณีสัญญาณไชนูซอยด์แบบ

พัลส์ ลักษณะที่ 2 ตามลำดับ ที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ จากผลการทดสอบจะพบว่า การใช้วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ทั้งในกรณีของสัญญาณไซนูซอยด์ และ สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ สำหรับในกรณีของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ทิศทางของแหล่งสัญญาณจะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น ดังนั้นจะนำค่ามุมทิศมาใช้ในการช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นได้ด้วยการหาค่ามุมทิศเฉลี่ยในช่วงดังกล่าว

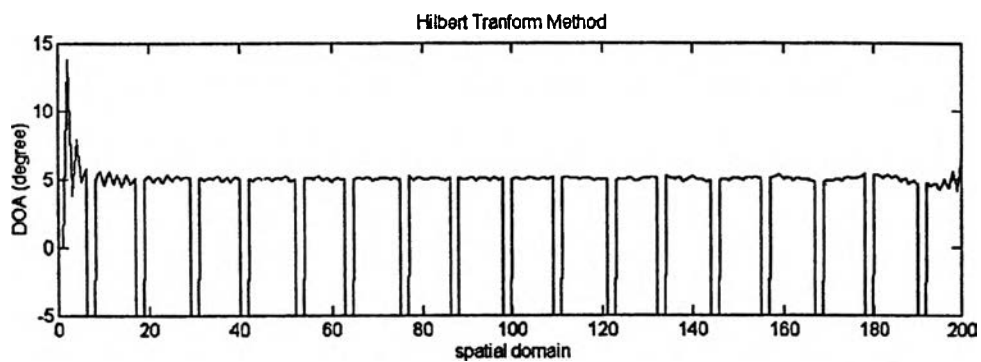
สำหรับตารางที่ 4.4a ถึง 4.4f จะเป็นตารางแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบ การหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในแบบที่ 1 และตารางที่ 4.5a ถึง 4.5f จะเป็นตารางแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบ การหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในแบบที่ 2 เมื่อกำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณมีมุมทิศในกรณีแตกต่างกันออกไป โดยทำการทดสอบที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และ มุมทิศมีค่าสูง ทั้งกรณีที่เป็น บวก และ ลบ ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา

จากการทดสอบจะพบว่า วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต นำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะได้ โดยที่มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศใกล้เคียงกับสัญญาณไซนูซอยด์ สำหรับในกรณีที่มุมทิศมีค่าต่ำ และ มุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีค่าความผิดพลาดของมุมทิศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มุมทิศมีค่าสูง และการหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1 จะมีค่าความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับหาค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นใน การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ชอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต กรณี มุมทิศทางมีค่าเป็นบวก $DOA = 5^\circ$ ที่ $SNR = 50$ dB



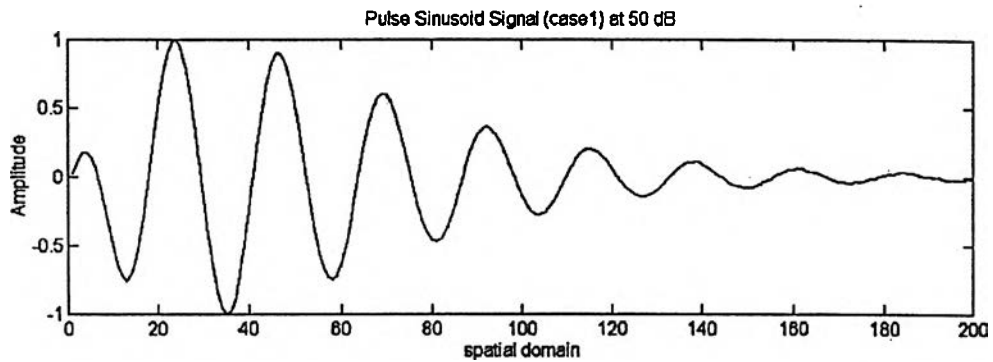
(a)



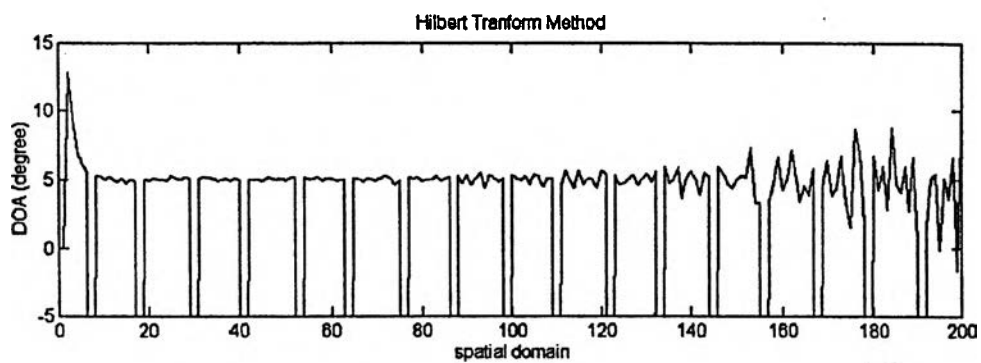
(b)

รูปที่ 4.50 การเปรียบเทียบ การประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ชอยด์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณไซน์ชอยด์ ที่ $SNR = 50$ dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 1 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต กรณีมุมทิศทางที่มีค่าเป็นบวก $DOA = 5^\circ$ ที่ $SNR = 50$ dB



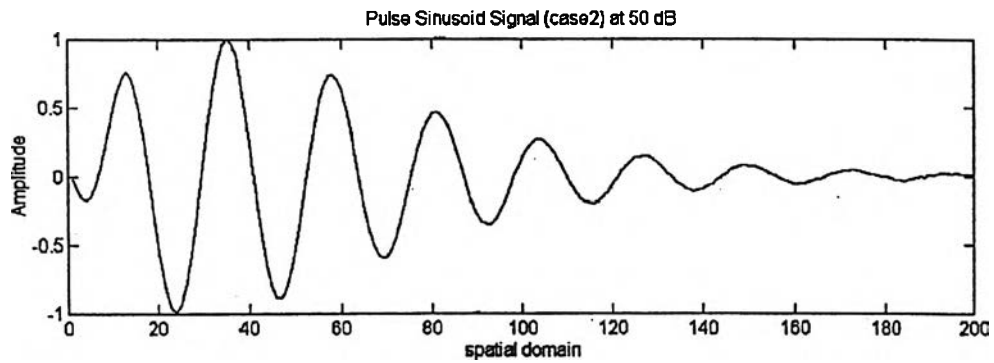
(a)



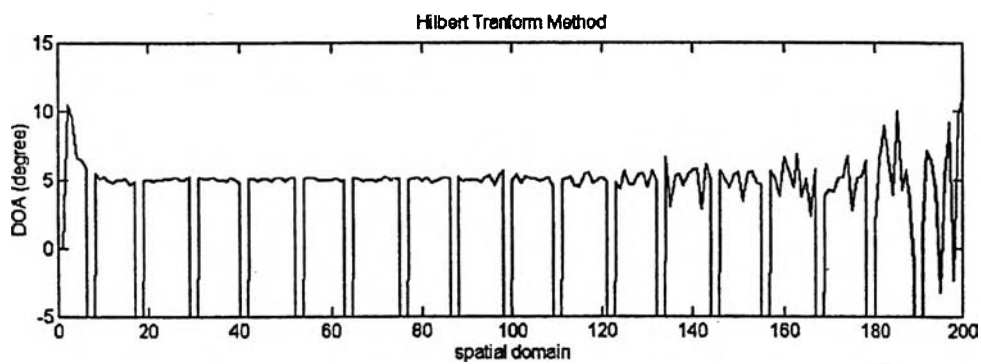
(b)

รูปที่ 4.51 การเปรียบเทียบ การประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 1 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 1 ที่ $SNR = 50$ dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

ตัวอย่าง การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 2 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต กรณีมุมทิศทางมีค่าเป็นบวก $DOA = 5^\circ$ ที่ $SNR = 50$ dB



(a)



(b)

รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบ การประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ลักษณะที่ 2 ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ที่มุมทิศทาง $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2 ที่ $SNR = 50$ dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

ตารางที่ 4.4a การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
0	-0.0047	0.0035	-0.0054
5	6.50597	6.0672	6.0638
10	9.4668	9.4846	9.4835
15	14.7031	14.8040	14.8065
20	20.1227	19.9583	19.9482
25	24.9147	24.9006	24.8964
30	29.9992	29.7502	29.7639

ตารางที่ 4.4b การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
35	35.1640	34.7293	34.7402
40	39.1923	39.5208	39.5093
45	45.7819	44.9280	44.9443
50	49.1945	49.6056	49.6203
55	54.8538	56.0796	56.0116
60	60.0780	60.6400	60.5292

ตารางที่ 4.4c การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
65	61.8272	64.1259	64.0403
70	63.0493	65.3641	65.6447
75	65.4446	69.5933	70.6343
80	73.8186	77.2372	80.5234
85	78.4350	81.3407	81.1519
90	79.0154	80.2080	81.1330

ตารางที่ 4.4d การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-5	-6.0599	-6.0650	-6.0709
-10	-9.4813	-9.4914	-9.4811
-15	-14.7021	-14.8036	-14.8040
-20	-20.1256	-19.9535	-19.9470
-25	-24.9143	-24.9064	-24.9122
-30	-29.9993	-29.7526	-29.7611

ตารางที่ 4.4e การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-35	-35.1828	-34.7245	-34.7294
-40	-39.2008	-39.5366	-39.5480
-45	-45.7717	-44.9279	-44.9878
-50	-49.1894	-49.6147	-49.6345
-55	-54.8730	-55.8937	-55.9873
-60	-60.0822	-60.6339	-60.6001

ตารางที่ 4.4f การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-65	-61.8696	-64.1885	-63.8508
-70	-63.2368	-65.7782	-65.4282
-75	-65.3891	-69.3940	-69.5599
-80	-74.0819	-78.0250	-80.6577
-85	-77.3570	-82.9407	-79.0973
-90	-79.5691	-80.2194	-78.3200

ตารางที่ 4.5a การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
0	0.0000	0.0000	0.0000
5	4.9547	4.9624	4.9620
10	9.8445	9.8600	9.8551
15	14.7300	14.7511	14.7518
20	19.6134	19.6817	19.6866
25	24.5083	24.5603	24.5699
30	29.1411	29.2089	29.2084

ตารางที่ 4.5b การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
35	34.3850	34.4314	34.4176
40	39.3533	39.3790	39.3810
45	44.2953	44.3511	44.3686
50	49.2688	49.3943	49.3053
55	54.2647	54.2926	54.3810
60	59.2563	59.2350	59.2970

ตารางที่ 4.5c การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
65	64.2692	64.3187	63.9111
70	69.3554	68.6844	68.8595
75	74.5246	73.6036	74.3457
80	79.8803	77.4662	78.4722
85	84.2117	80.6927	80.3031
90	86.8426	85.3052	85.3084

ตารางที่ 4.5d การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศทางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-5	-4.9900	-5.0100	-4.9638
-10	-10.0100	-10.0100	-9.8584
-15	-14.9900	-15.0100	-14.7478
-20	-20.0100	-20.0100	-19.6838
-25	-25.0100	-24.9900	-24.5733
-30	-30.0200	-29.9900	-29.2142

ตารางที่ 4.5e การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศทางปานกลางมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-35	-35.0100	-35.0200	-34.4175
-40	-40.0200	-40.0600	-39.4026
-45	-45.0200	-45.0200	-44.3490
-50	-49.9900	-50.0600	-49.2793
-55	-54.9900	-54.9600	-54.3326
-60	-59.9900	-59.9600	-59.0944

ตารางที่ 4.5f การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2
กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศทางสูงมีค่าเป็นลบ

DOA (degree)	Sinusoid Signal	Pulse Sinusoid Signal	
		Case 1	Case 2
-65	-64.9900	-65.0200	-64.1261
-70	-70.0100	-70.0300	-69.0376
-75	-75.0200	-74.9600	-74.0625
-80	-80.0300	-80.2500	-77.9845
-85	-84.9900	-84.7900	-81.2351
-90	-89.4700	-89.6300	-85.2386

ผลการทดสอบที่ 4.17 กรณีเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณไชนูซอยด์แบบพัลส์ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

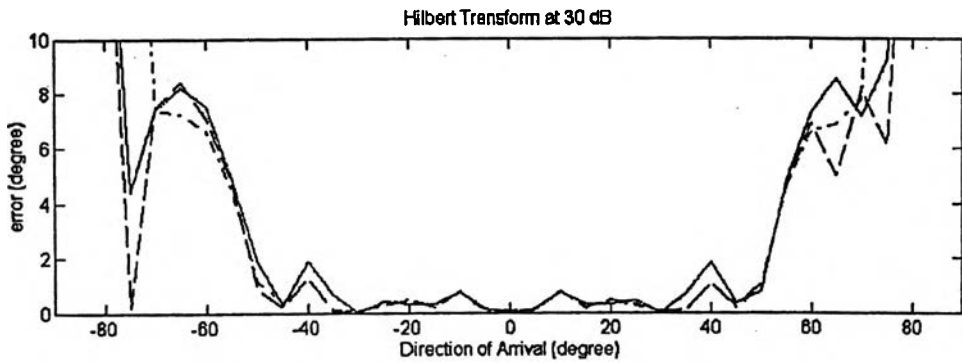
กำหนดให้ จำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณ $L = 1$, จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด ค่าที่นำมาใช้ในการสร้าง แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 และ แบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 นำมาจาก ผลการทดสอบที่ 3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่สายอากาศ มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $SNR = 10, 20$ และ 30 dB ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว $d = \lambda/2$ ทำการประมาณหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ซึ่งก็จะเป็นการทำค่าผลต่างของเฟส (phase difference) ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

รูปที่ 4.56 , 4.57 และ 4.58 จะเป็นการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.59 , 4.60 และ 4.61 จะเป็นการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ในแบบที่ 2 จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ และ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ที่มุมทิศมีค่าต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และมุมทิศมีค่าสูง ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา โดยกำหนดให้

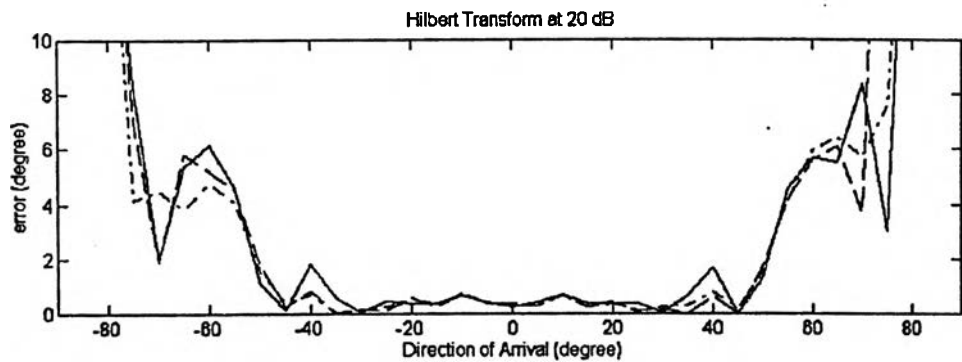
- รูปที่ 4.53 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.56 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 8$ กำหนดให้ (a) กรณี $SNR = 30$ dB , (b) กรณี $SNR = 20$ dB และ (c) กรณี $SNR = 30$ dB
- รูปที่ 4.54 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.57 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 16$ กำหนดให้ (a) กรณี $SNR = 30$ dB , (b) กรณี $SNR = 20$ dB และ (c) กรณี $SNR = 30$ dB
- รูปที่ 4.53 ในแบบที่ 1 และ รูปที่ 4.56 ในแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสายอากาศ $m = 24$ กำหนดให้ (a) กรณี $SNR = 30$ dB , (b) กรณี $SNR = 20$ dB และ (c) กรณี $SNR = 30$ dB

จากการทดสอบจะพบว่า การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ และ กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าใกล้เคียงกัน และในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเฉลี่ยมากกว่ากรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่าน้อย หรือ ค่า SNR สูง

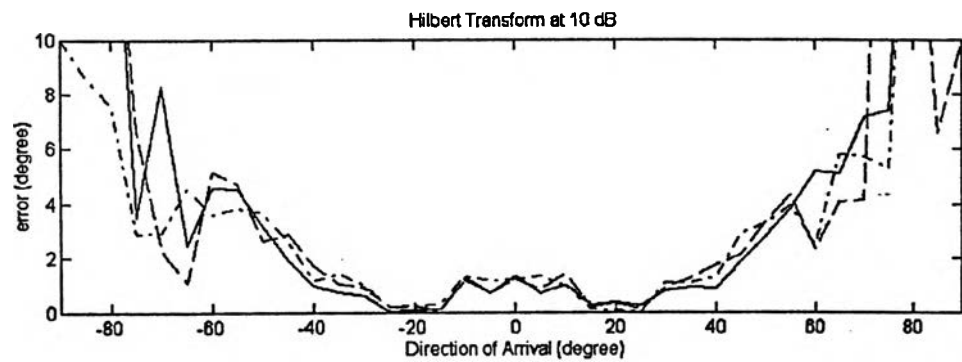
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

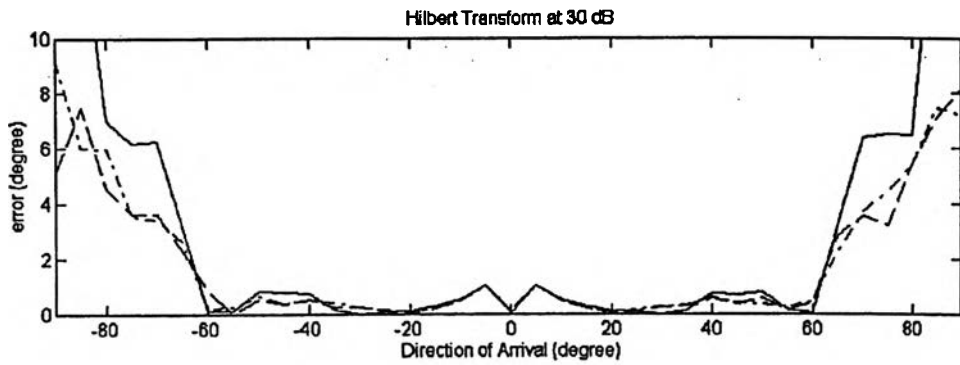


(c)

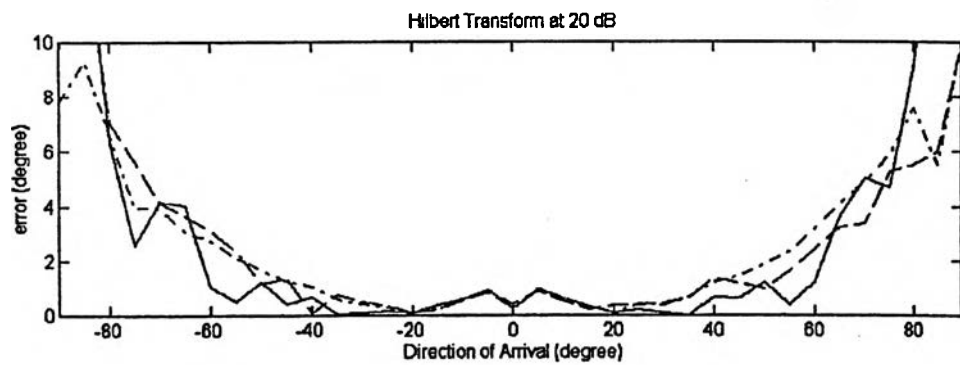
- สัญญาณไซนัสชอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.53 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

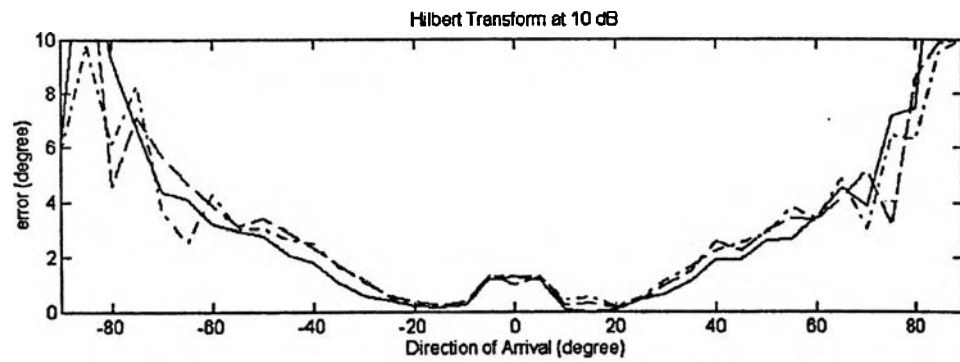
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

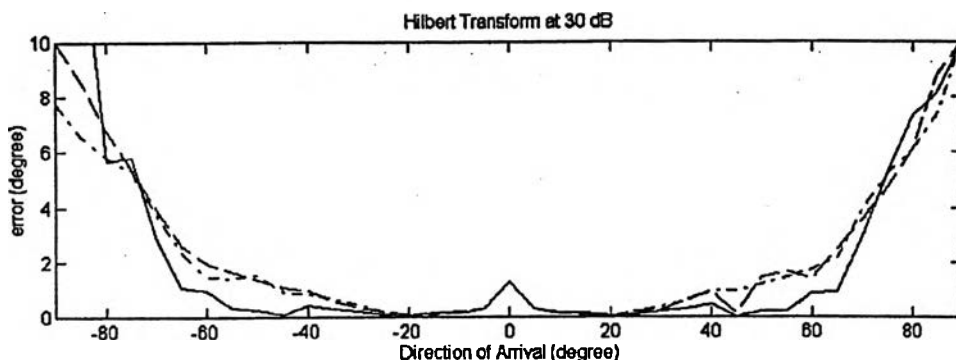


(c)

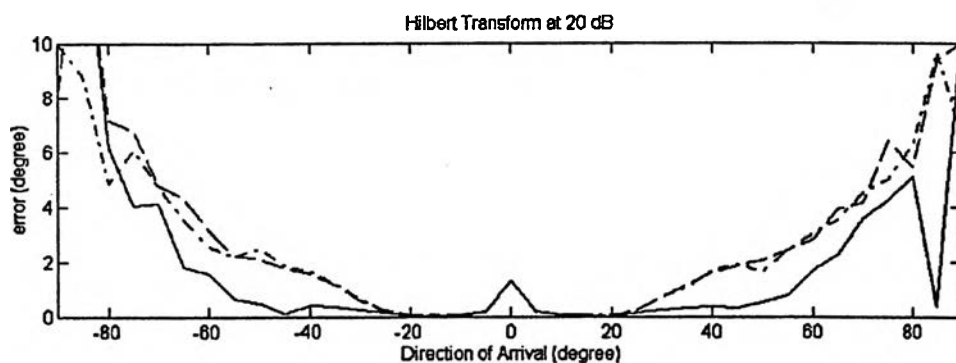
- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- · - · - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.54 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

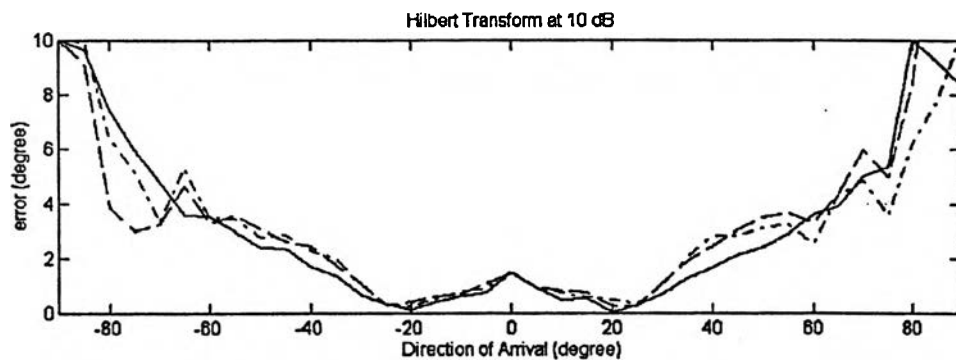
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

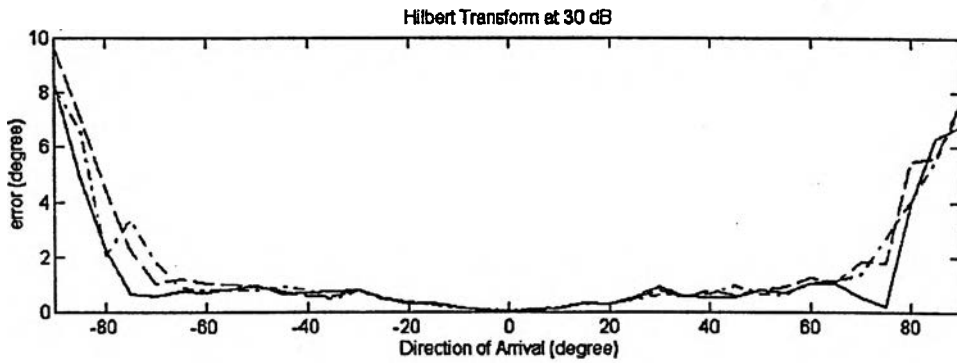


(c)

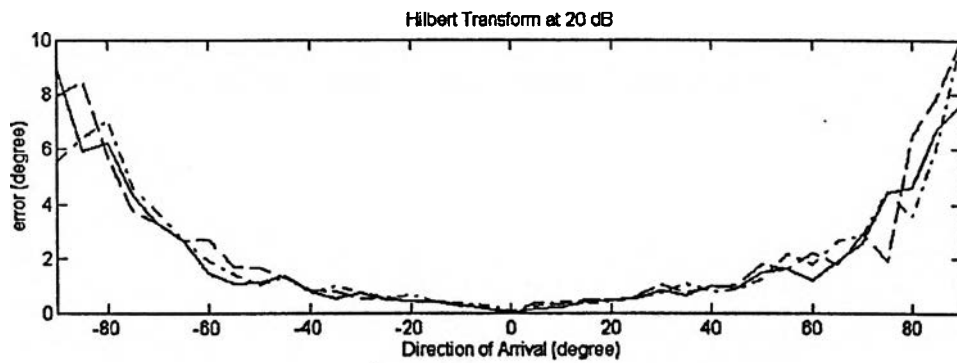
- สัญญาณไซน์ชอยด์
- สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.55 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

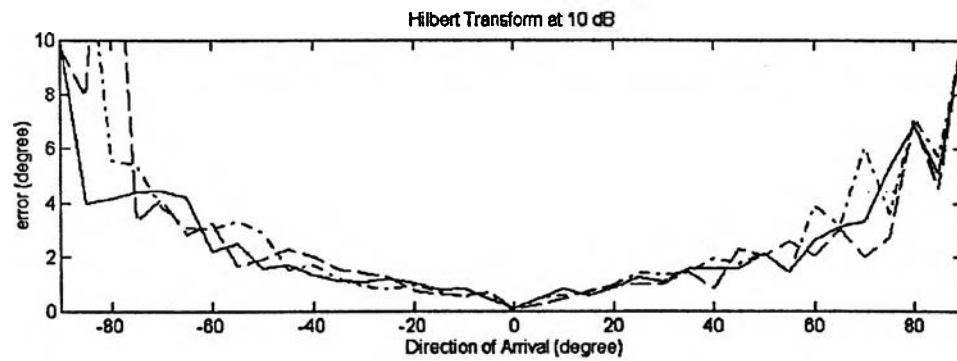
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 2 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

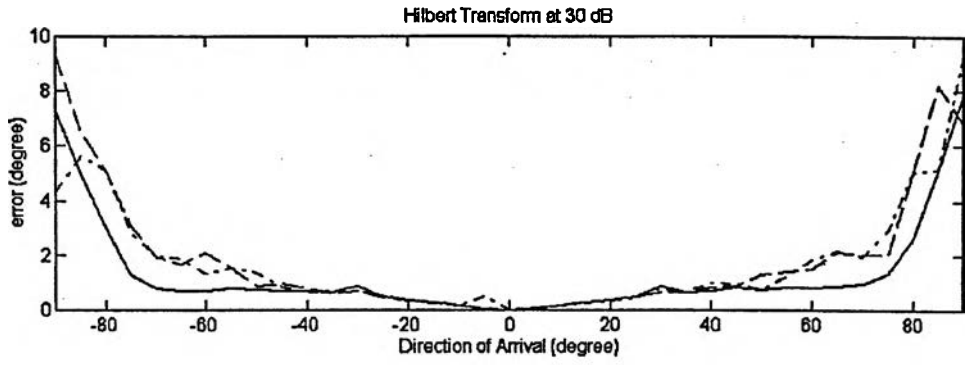


(c)

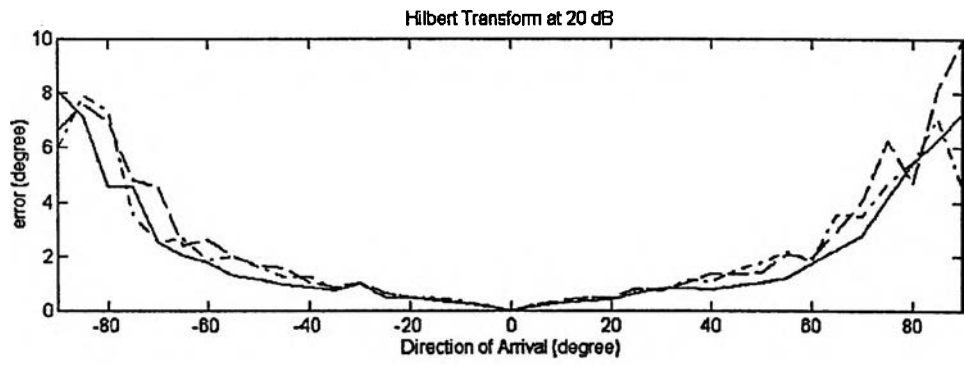
- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.56 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

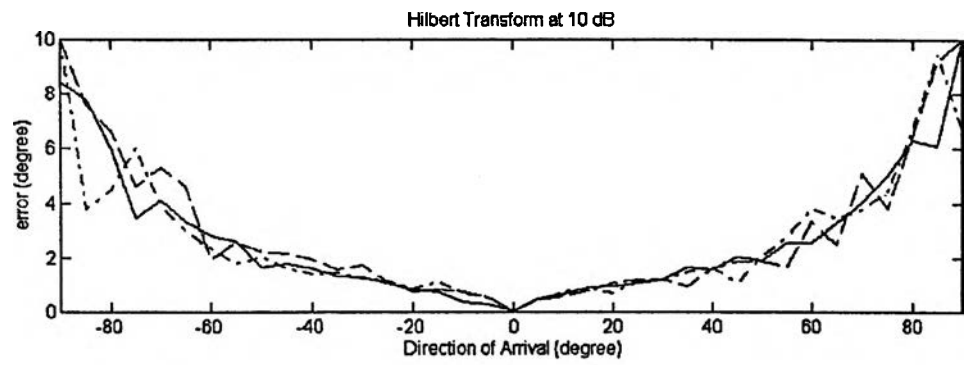
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 2 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)

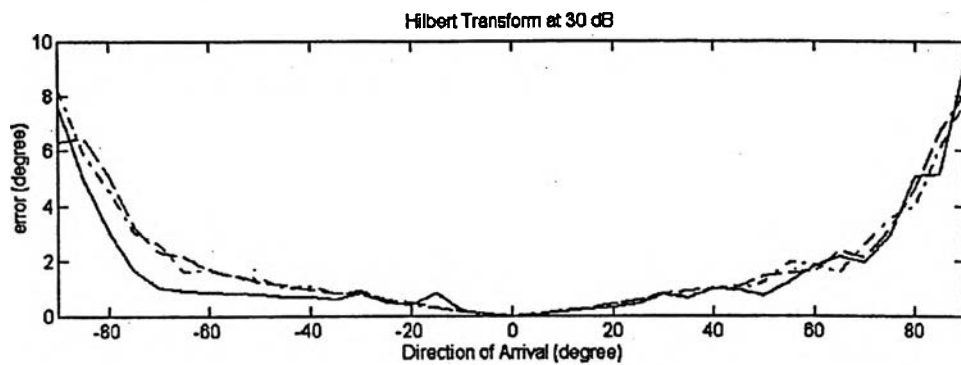


(c)

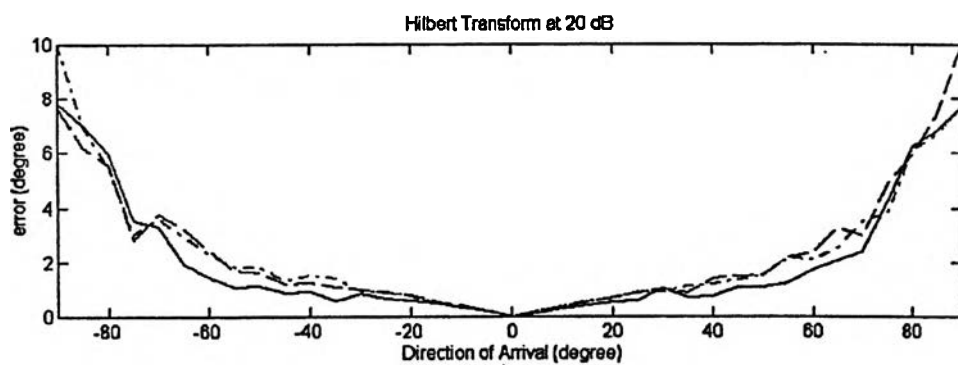
- สัญญาณไซนูซอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1
- . - . - . สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.57 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

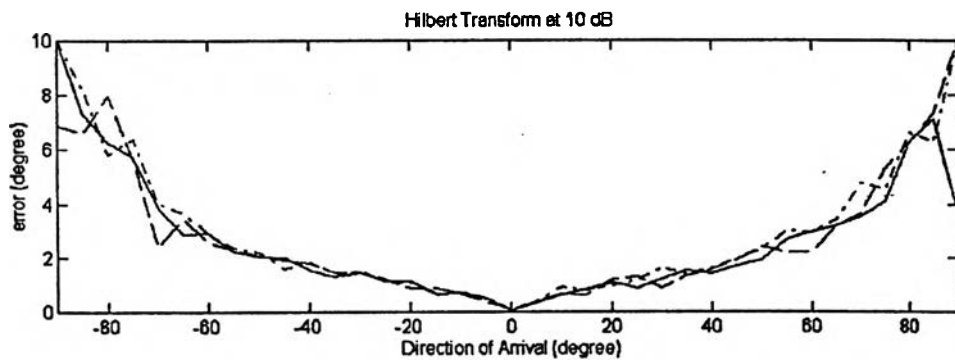
ตัวอย่าง กราฟค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 2 เมื่อสัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB ที่มุมทิศ -90 ถึง 90 องศา



(a)



(b)



(c)

- สัญญาณไซน์ชอยด์
- - - - - สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 1
- สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์ ลักษณะที่ 2

รูปที่ 4.58 ค่าความคลาดเคลื่อน การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB

4.6 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

การจำลองผลการทดสอบบนคอมพิวเตอร์ สำหรับการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณที่เกิดขึ้นทางการทหารในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยได้พิจารณาถึงรูปแบบของสัญญาณที่นำมาใช้งานได้จริง สามารถแบ่งรูปแบบของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่นำมาทำการศึกษาวิจัยได้เป็นรูปแบบของ แหล่งกำเนิดสัญญาณไซนูซอยด์ และ แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ เพื่อนำมาทำการทดสอบเปรียบเทียบกัน ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ได้มีการนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ได้แก่ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ (Beamformer Method) วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น (Linear prediction Method) เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการศึกษาวิธีการที่ได้มีการนำไปใช้ในการประมาณหาความถี่ของสัญญาณ มาพัฒนาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ได้แก่ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transforms Method)

การนำวิธีการต่างๆ มาใช้งานนั้น วิธีการดังกล่าวเป็นการนำเอาหลักการของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) นำไปใช้ในการประมาณสเปกตรัม (Spectral Estimation) เพื่อหาความถี่ของสัญญาณ แต่เมื่อนำมาพัฒนาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ (Direction of Arrival Estimation) จะอาศัยหลักการประมวลผลของสัญญาณในลักษณะของ Array Signal Processing มาใช้ เพื่อหาค่า ผลต่างของเฟส (phase difference) เมื่อสัญญาณแพร่กระจายผ่าน ตัวตรวจรู้ (sensor) หรือ สายอากาศทิศทาง (direction finder antenna) กำหนดให้เรียงต่อกันเป็นแถวในลักษณะที่เรียกว่า แถวลำดับเชิงเส้นสม่ำเสมอ (Uniform Linear Array) ในระบบเครื่องหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สัญญาณที่นำมาทำการทดสอบเป็นแบบจำลองของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- 1) สัญญาณ stationary เป็นสัญญาณที่มีคุณลักษณะของสัญญาณ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariant) ได้แก่ สัญญาณไซนูซอยด์ ซึ่งเป็นสัญญาณรูปแบบมาตรฐาน ที่นำมาใช้ทดสอบเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบ
- 2) สัญญาณ non stationary เป็นสัญญาณที่มีคุณลักษณะของสัญญาณ เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time varying) ได้แก่ สัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ เป็นรูปแบบของสัญญาณที่เกิดขึ้นทางการทหาร จะนำมาใช้ทดสอบโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปแบบมาตรฐาน

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ จะพิจารณาทำการศึกษาได้จากคุณลักษณะของรูปสัญญาณทางการทหารที่เกิดขึ้น และจะนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบให้มีรูปแบบเหมือนกับสัญญาณที่ต้องการ จากการทดสอบจะพบว่า แต่ละแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะให้รูปของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณทางการทหารที่ต้องการ จะเห็นได้จาก ผลการทดสอบที่

3.1 และ ผลการทดสอบที่ 3.2 ตามลำดับ จึงนำแบบจำลองทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าว มาเขียนโปรแกรมแบบจำลองของสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ แล้วจึงนำมาทดสอบใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการต่างๆ ที่นำเสนอ โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองกรณีที่เป็นสัญญาณไซนัสชอยด์

การศึกษา วิจัย ค้นคว้า ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ทั้งในกรณีสัญญาณไซนัสชอยด์ และ กรณีสัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ โดยทำการทดสอบตามจุดประสงค์ของศึกษาเปรียบเทียบ เมื่อทำการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยมุมทิศทางที่แตกต่างกันทั้งบวกและลบ (ตั้งแต่ -90 องศา ถึง 90 องศา) เพื่อศึกษาหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้น และพิจารณาถึงการนำไปใช้งานในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณด้วยจำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ตลอดจนพิจารณาทางด้านความทนทานของระบบซึ่งได้ทำการทดสอบเมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในสายอากาศ (SNR = 10, 20 และ 30 dB) นอกจากนี้แล้วยังทำการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณในช่วงสัญญาณที่แตกต่างกันด้วยการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน 100 snapshot เพื่อศึกษาหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ ได้แก่ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ , วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น และ วิธีผลแปลงฮิลเบิร์ต สามารถนำมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลการทดสอบ แบ่งตามวิธีการที่นำเสนอ สรุปได้ดังต่อไปนี้

4.6.1 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีบีมฟอร์มเมอร์

การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ได้ทำการทดสอบตามจุดประสงค์ของการศึกษาเปรียบเทียบจะสังเกตผลการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบ สรุปได้ดังต่อไปนี้

- ผลการทดสอบที่ 4.1 จะพบว่า สเปกตรัมของสัญญาณจากวิธีบีมฟอร์มเมอร์ สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีสัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ทั้ง 2 ลักษณะได้ จะเห็นว่า จุดสูงสุดของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยที่มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศทางใกล้เคียงกับ กรณีสัญญาณไซนัสชอยด์ และสำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไซนัสชอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ที่ได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกันแต่ให้รูปสัญญาณที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณทางทหาร กราฟที่แสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณก็จะมีรูปสเปกตรัมของสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน
- ผลการทดสอบที่ 4.2 ในการเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่ต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ มาใช้ในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง จะพบว่า
 1. กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนน้อย สเปกตรัมของสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ จะมีความละเอียดต่ำกว่า กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนมาก และเมื่อเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่มากขึ้นสเปกตรัมของสัญญาณก็ จะมีความละเอียดมากขึ้น

2. ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า การเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก เนื่องจากในการเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่น้อย จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่ารูปสเปกตรัมด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์จะมีความละเอียดที่ต่ำกว่าการเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก ทำให้การวัดค่ามุมทิศที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากกว่า
 3. ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ การพิจารณาเลือกใช้จำนวนสายอากาศก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ สำหรับการใส่สายอากาศจำนวนมากๆ ในกรณีมุมทิศมีค่าต่างๆ ค่ามุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อกรณีที่มีมุมทิศมีค่ามากขึ้น ค่ามุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากขึ้น เนื่องจากจะพบว่าเมื่อสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ แพร่กระจายผ่านสายอากาศตัวที่ m จากสายอากาศอ้างอิง โดยที่กำหนดให้สัญญาณจะแพร่กระจายผ่านสายอากาศอ้างอิงก่อน ดังนั้นในกรณีที่มุมทิศมีค่ามากขึ้น และเมื่อออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางด้วยสายอากาศจำนวนมาก ค่าของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศตัวที่ m จะวัดค่าได้ในเวลาที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สเปกตรัมของสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น
 4. ในการพิจารณาออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติปฏิบัติงานจริง จะพบว่า จากการทดสอบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีความแม่นยำ ที่มุมทิศในช่วงตั้งแต่ -90 ถึง 90 องศา และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา สำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ กรณีมุมทิศมีค่าต่ำ และ กรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีมุมทิศมีค่าสูง มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีความแม่นยำ ที่มุมทิศในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
 5. กรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไขว้ชอยด์
- ผลการทดสอบที่ 4.3 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ นำมาใช้เปรียบเทียบเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) จะพบว่า
 1. ในกรณีมุมทิศมีค่าต่ำ และ กรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าสูง และกรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ ดังนั้นจากการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน จะพบว่า

กรณีสัญญาณสัญญาณไชนูซอยด์

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -90 ถึง 90 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 10$ และ 20 dB มุมทศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -85 ถึง 85 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา

กรณีสัญญาณสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ

- ที่ $SNR = 20$ และ 30 dB มุมทศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -75 ถึง 75 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 70 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 1 องศา

2. กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทศมากกว่า กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง เนื่องจากเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามากขึ้น รูปของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าได้จากสายอากาศก็จะมีรูปแบบที่แตกต่างจากรูปสัญญาณที่ต้องการ ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

- **ผลการทดสอบที่ 4.4** วิธีบีมฟอร์มเมอร์ นำมาใช้เปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณในสัญญาณช่วงที่ต่างกันชักตัวอย่างจำนวน $N = 5$ snapshot ตั้งแต่ $1 - 100$ snapshot จะพบว่า

1. กรณีสัญญาณไชนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสัญญาณไชนูซอยด์ เป็นสัญญาณ stationary มีคุณลักษณะสัญญาณที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariant) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน ($1 - 100$ snapshot) นำมาใช้ประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศที่เกิดขึ้นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน
2. กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ เป็นสัญญาณ non stationary มีคุณลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time varying) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน ($1 - 100$ snapshot) เมื่อนำมาใช้หามุมทศในช่วงเริ่มต้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นนั้น มุมทศที่เกิดขึ้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับกรณีสัญญาณไชนูซอยด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศจะเกิดการลดทอน (attenuation) ขึ้นเมื่อนำมาประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีบีมฟอร์มเมอร์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศจะเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ค่ามุมทศที่เกิดขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดมากขึ้นจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้

3. กรณีสัญญาณไซนูซอยด์ การออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณมากกว่า การเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก
4. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ การออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) มุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณมากกว่า การเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก
5. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ สำหรับการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ที่สัญญาณรบกวนมีค่าแตกต่างกัน ($SNR = 10, 20$ และ 30 dB) ที่มุมทิศ 5 องศา ด้วยวิธีบีบฟอร์มเมอร์ จากการทดสอบพบว่า

เมื่อ $m = 8$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

เมื่อ $m = 16$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

เมื่อ $m = 24$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 90 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา

6. กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ ในการเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย มุมทิศจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า การใช้สายอากาศจำนวนมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่มากขึ้น จะทำให้มุมทิศที่เกิดขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย สำหรับกรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก

4.6.2 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น

การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ได้นำขั้นตอนกรรมวิธีของ Burg Algorithm และ Levinson Algorithm มาใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการประมาณพหุระเชิงเส้น มาทำการทดสอบตามจุดประสงค์ของการศึกษาเปรียบเทียบจะสังเกตผลการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบ สรุปได้ดังต่อไปนี้

4.6.2.1 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จาก Levinson Algorithm

- **ผลการทดสอบที่ 4.5** การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm จะพบว่า
 1. สเปกตรัมของสัญญาณจะนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะได้ จะเห็นว่า จุดสูงสุดของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยที่มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศเฉลี่ยใกล้เคียงกับ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์สำหรับสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ที่ได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกันแต่ให้รูปสัญญาณที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณทางทหาร กราฟที่แสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณก็จะมีรูปสเปกตรัมของสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน
 2. การชักตัวอย่างสัญญาณในแต่ละ snapshot สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จาก Levinson Algorithm จะได้มุมทิศเกิดขึ้น สำหรับมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot จะนำมาใช้หาค่ามุมทิศเฉลี่ย เพื่อให้การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณเกิดความแม่นยำมากขึ้น
- **ผลการทดสอบที่ 4.6** การเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่ต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm มาใช้ในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง จะพบว่า
 1. กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนน้อย สเปกตรัมของสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm จะมีความละเอียดต่ำกว่า กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนมาก และเมื่อเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่มากขึ้นสเปกตรัมของสัญญาณก็มีความละเอียดมากขึ้น

2. ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะมีค่าแตกต่างกัน การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะเกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่าการเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก เนื่องจากในการเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่น้อย จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ารูปสเปกตรัมด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm จะมีความละเอียดที่ต่ำกว่าการเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก ทำให้การวัดค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้มากกว่า
3. ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ การพิจารณาเลือกใช้จำนวนสายอากาศก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ กล่าวคือ การเลือกใช้สายอากาศจำนวนน้อย จะเกิดค่าความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่าการเลือกใช้สายอากาศจำนวนมาก สำหรับการเลือกใช้สายอากาศจำนวนมากๆ ในกรณีมุมทิศมีค่าต่างๆ ค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อกรณีที่มุมทิศมีค่ามากขึ้น ค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เนื่องจากพบว่าเมื่อสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ แพร่กระจายผ่านสายอากาศตัวที่ m จากสายอากาศอ้างอิง โดยที่กำหนดให้สัญญาณจะแพร่กระจายผ่านสายอากาศอ้างอิงก่อน ดังนั้นในกรณีที่มุมทิศมีค่ามากขึ้น และเมื่อออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางด้วยสายอากาศจำนวนมาก ค่าของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศตัวที่ m จะวัดค่าได้ในช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สเปกตรัมของสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น
4. ในการพิจารณาออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติปฏิบัติงานจริง จากการทดสอบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ที่จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่า $SNR = 30$ dB จะพบว่า

กรณีสัญญาณสัญญาณไขว้ชอยด์

- ที่ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา

กรณีสัญญาณสัญญาณพัลส์ไขว้ชอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ

- ที่ $m = 8$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -70 ถึง 65 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $m = 16$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 65 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $m = 24$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -70 ถึง 65 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

- **ผลการทดสอบที่ 4.7** การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm นำมาใช้เปรียบเทียบเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) จะพบว่า

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และ มุมทิศมีค่าสูง ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของมุมทิศมากกว่า กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง เนื่องจากเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามากขึ้น รูปของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าได้จากสายอากาศก็จะมีรูปแบบที่แตกต่างจากรูปสัญญาณที่ต้องการ ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากขึ้น
2. ในกรณีมุมทิศมีค่าต่ำ และ กรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าสูง และกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ดังนั้นจากการทดสอบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน จะพบว่า

กรณีสัญญาณสัญญาณไซนูซอยด์

- ที่ SNR = 20 และ 30 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -70 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา

กรณีสัญญาณสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ

- ที่ SNR = 30 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -55 ถึง 55 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศเฉลี่ยในช่วงตั้งแต่ ± 55 ถึง ± 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 20 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศเฉลี่ยในช่วงตั้งแต่ ± 30 ถึง ± 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศเฉลี่ยในช่วงตั้งแต่ ± 30 ถึง ± 65 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทศไม่เกิน 1 องศา

- ผลการทดสอบที่ 4.8 วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm นำมาใช้เปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ จากการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณจำนวนหลาย ๆ snapshot ในสัญญาณช่วงที่ต่างกัน ทำการชักตัวอย่างจำนวน $N = 100$ snapshot แบ่งได้เป็น ๒ แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 มุมทิศที่เกิดขึ้นได้มาจาก ข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ จำนวนหลาย snapshot จะเป็นทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

แบบที่ 2 มุมทิศที่เกิดขึ้นได้มาจาก ข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ ในแต่ละ snapshot จะนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้จากค่าเฉลี่ยของมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot

1. กรณีสัญญาณไซนุซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสัญญาณไซนุซอยด์ เป็นสัญญาณ stationary มีคุณลักษณะสัญญาณที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariant) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน (1 - 100 snapshot) นำมาใช้ประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน
2. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ เป็นสัญญาณ non stationary มีคุณลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time varying) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน (1 - 100 snapshot) เมื่อนำมาใช้หามุมทิศในช่วงเริ่มต้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น จะพบว่า มุมทิศที่เกิดขึ้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับกรณีสัญญาณไซนุซอยด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศจะเกิดการลดทอน (attenuation) ขึ้นเมื่อนำมาประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศจะเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ค่ามุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีความผิดพลาดมากขึ้นจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้
3. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง ช่วงสัญญาณที่นำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้โดยที่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อย จะมีช่วงสัญญาณที่มากกว่า กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากรูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จากรูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5 ที่ทำการชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot ที่ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB จะเห็นได้ว่า เมื่อสัญญาณรบกวนมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง รูปสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่ต้องการ แต่เมื่อสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น จะทำรูปสัญญาณก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในช่วงที่สัญญาณเกิดการลดทอนขึ้น ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ใน

กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีช่วงสัญญาณที่จะนำไปใช้งานได้ น้อยกว่า ในกรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ

4. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ สำหรับการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง ในการเลือกใช้ จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ที่สัญญาณรบกวนมีค่าแตกต่างกัน ($SNR = 10, 20$ และ 30 dB) ที่มุมทิศ 5 องศา จากการทดสอบพบว่า

4.1 วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm

เมื่อ $m = 8$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 45 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 30 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 25 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

เมื่อ $m = 16$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 20 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

เมื่อ $m = 24$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 5$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 45 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 3 องศา

4.2 วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm

เมื่อ $m = 8$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

- ที่ SNR = 20 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 30 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 30 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 5 องศา

เมื่อ $m = 16$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ SNR = 30 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ SNR = 20 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 45 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 35 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

เมื่อ $m = 24$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ SNR = 30 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 65 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ SNR = 20 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 55 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 30 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

- ผลการทดสอบที่ 4.9 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 โดยเปรียบเทียบกันจะพบว่า

1. สเปกตรัมของสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 จะมีความละเอียดมากกว่า สเปกตรัมของสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2
2. วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ในกรณีสัญญาณไขว้ชอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า SNR = 30 dB จากการทดสอบจะพบว่า

วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 มุมทิศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -90 ถึง 90 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา

3. วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ในกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า $SNR = 30$ dB จากการทดสอบจะพบว่า

วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3 มุมทิศทางที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 0.5 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 5 มุมทิศทางที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 0.5 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 7 มุมทิศทางที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -20 ถึง 20 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 1 องศา

วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3 มุมทิศทางเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศทางในช่วงตั้งแต่ ± 40 ถึง ± 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 1 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 5 มุมทิศทางเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 0.5 องศาและ มุมทิศทางในช่วงตั้งแต่ ± 40 ถึง ± 70 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 1 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 7 มุมทิศทางเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 1 องศาและ มุมทิศทางในช่วงตั้งแต่ ± 60 ถึง ± 90 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางไม่เกิน 2 องศา

4. วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm กรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีมุมทิศทางมีค่าต่ำ และจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางมากขึ้น ในกรณีมุมทิศทางมีค่าปานกลาง และ มุมทิศทางมีค่าสูง เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่มากขึ้น สำหรับวิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm ในกรณีมุมทิศทางมีค่าต่ำ และ กรณีมุมทิศทางมีค่าปานกลาง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีมุมทิศทางมีค่าสูง
5. วิธีการประมาณพหุคูณเชิงเส้น แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า $SNR = 30$ dB ทำการชักตัวอย่างจำนวน $N = 100$ snapshot ในกรณีสัญญาณไชนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ ทั้ง 2

ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ดังนั้นจากการทดสอบจะพบว่า

วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 55 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm

- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 55 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 55 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 5 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 70 ถึง 75 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 7 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 45 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 45 ถึง 75 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

4.6.2.2 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จาก Burg Algorithm

- ผลการทดสอบที่ 4.10 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วย วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm จะพบว่า
 1. สเปกตรัมของสัญญาณจะนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะได้ จะเห็นว่า จุดสูงสุดของกราฟจะแสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยที่มีค่าความผิดพลาดของมุมทิศเฉลี่ยใกล้เคียงกับ กรณีสัญญาณไซนูซอยด์สำหรับสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ที่ได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกันแต่ให้รูปสัญญาณที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณทางทหาร กราฟที่แสดงทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณก็จะมีรูปสเปกตรัมของสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน
 2. การชักตัวอย่างสัญญาณในแต่ละ snapshot สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ จาก Burg Algorithm จะได้มุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot และจะนำมาใช้หาค่ามุมทิศเฉลี่ย เพื่อให้การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณเกิดความแม่นยำมากขึ้น
- ผลการทดสอบที่ 4.11 การเลือกใช้สายอากาศจำนวนที่ต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm มาใช้ในการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง จะพบว่า

1. กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนน้อย สเปกตรัมของสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm จะมีความละเอียดใกล้เคียงกันกับ กรณีที่เลือกสายอากาศจำนวนมาก
2. ในการเลือกใช้งานสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณไขว้ขอยด์ มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการเลือกใช้งานสายอากาศจำนวนที่ต่างกัน จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ารูปสเปกตรัมด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm จะมีความละเอียดที่ใกล้เคียงกัน ทำให้การวัดค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณเกิดค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน
3. ในการเลือกใช้งานสายอากาศที่แตกต่างกัน กรณีสัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ การพิจารณาเลือกใช้งานสายอากาศก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีสัญญาณไขว้ขอยด์ กล่าวคือ การเลือกใช้งานสายอากาศจำนวนที่ต่างกัน จะเกิดค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณใกล้เคียงกัน และการใช้สายอากาศจำนวนมากๆ ในกรณีมุมทิศมีค่าต่างๆ ค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อกรณีที่มุมทิศมีค่ามากขึ้น ค่ามุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เช่นเดียวกันกับการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ และ วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm
4. ในการพิจารณาออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติปฏิบัติงานจริง จากการทดสอบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ที่จำนวนสายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่า SNR = 30 dB จะพบว่า

กรณีสัญญาณสัญญาณไขว้ขอยด์

- ที่ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา

กรณีสัญญาณสัญญาณพัลส์ไขว้ขอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ

- ที่ $m = 8$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -35 ถึง 35 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 35 ถึง ± 70 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $m = 16$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -35 ถึง 35 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 35 ถึง ± 70 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $m = 24$ ชุด มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -35 ถึง 35 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 35 ถึง ± 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา

- ผลการทดสอบที่ 4.12 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm นำมาใช้เปรียบเทียบเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน (SNR = 10, 20 และ 30 dB) จะพบว่า

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ ที่มุมทิศมีต่ำ , มุมทิศมีค่าปานกลาง และ มุมทิศมีค่าสูง ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการประมาณทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณมากกว่า กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง เนื่องจากเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามากขึ้น รูปของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าได้จากสายอากาศก็จะมีรูปแบบที่แตกต่างจากรูปสัญญาณที่ต้องการ ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น
2. ในกรณีมุมทิศมีค่าต่ำ และ กรณีมุมทิศมีค่าปานกลาง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีมุมทิศมีค่าสูง และกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ในกรณีมุมทิศมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ดังนั้นจากการทดสอบประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีค่าแตกต่างกัน จะพบว่า

กรณีสัญญาณสัญญาณไซนูซอยด์

- ที่ SNR = 20 และ 30 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -90 ถึง 90 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -90 ถึง 85 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา

กรณีสัญญาณสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ

- ที่ SNR = 30 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 30 ถึง ± 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 20 dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 60 ถึง ± 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
- ที่ SNR = 10 dB มุมทิศที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 40 ถึง ± 90 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

- ผลการทดสอบที่ 4.13 วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm นำมาใช้เปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในสัญญาณช่วงที่ต่างกัน ทำการชักตัวอย่างจำนวน $N = 5$ snapshot ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot จะพบว่า
 1. กรณีสัญญาณไซนุซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นสัญญาณ stationary ที่มีคุณลักษณะสัญญาณที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariant) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน (1 - 100 snapshot) นำมาใช้ประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน
 2. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ เป็นสัญญาณ non stationary มีคุณลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time varying) ดังนั้น ค่าของสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศในช่วงที่แตกต่างกัน (1 - 100 snapshot) เมื่อนำมาใช้หามุมทิศทางในช่วงเริ่มต้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้น จะพบว่า มุมทิศทางที่เกิดขึ้นขณะที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับกรณีสัญญาณไซนุซอยด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าสัญญาณที่วัดได้ขณะที่แพร่กระจายผ่านสายอากาศจะเกิดการลดทอน (attenuation) ขึ้นเมื่อนำมาประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ค่ามุมทิศทางที่เกิดขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดมากขึ้นจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้
 3. มุมทิศทางที่เกิดขึ้นจะได้อาจจาก ข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้จากการชักตัวอย่างของสัญญาณ ในแต่ละ snapshot จะสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้จากค่าเฉลี่ยของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละ snapshot ดังนั้น ในกรณีสัญญาณไซนุซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน การชักตัวอย่างสัญญาณจำนวนมาก ค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้จะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการชักตัวอย่างสัญญาณจำนวนน้อย และสำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางจะเพิ่มมากขึ้น ในช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป และค่ามุมทิศทางเฉลี่ยที่ได้จะต้องใช้การชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่เกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น
 4. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง ช่วงสัญญาณที่นำไปใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้โดยที่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อย จะมีช่วงสัญญาณที่มากกว่า กรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ระบบมีมาก หรือ ค่า SNR ต่ำ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากรูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนุซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จากรูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5 ที่ทำการชักตัวอย่างสัญญาณในช่วงที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot ที่ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB จะเห็นได้ว่า เมื่อสัญญาณรบกวนมีน้อย หรือ ค่า SNR สูง รูปสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่ต้องการ แต่เมื่อสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น จะ

ทำรูปสัญญาณก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในช่วงที่สัญญาณเกิดการลดทอนขึ้น ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ในกรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ จะมีช่วงสัญญาณที่จะนำไปใช้งานได้ น้อยกว่า ในกรณีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่ามาก หรือ ค่า SNR ต่ำ

5. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ สำหรับการออกแบบระบบเครื่องหาทิศทาง ในการเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ที่สัญญาณรบกวนมีค่าแตกต่างกัน ($SNR = 10, 20$ และ 30 dB) ที่มุมทิศ 5 องศา วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm จากการศึกษาทดสอบพบว่า

เมื่อ $m = 8$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และช่วงตั้งแต่ 40 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 30 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และช่วงตั้งแต่ 30 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 20 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา และช่วงตั้งแต่ 20 ถึง 40 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 5 องศา

เมื่อ $m = 16$ ชุด ชักตัวอย่างสัญญาณจำนวน $N = 1$ ในช่วงตั้งแต่ 1 - 100 snapshot

- ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และช่วงตั้งแต่ 50 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 35 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และช่วงตั้งแต่ 35 ถึง 55 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
- ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 15 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และช่วงตั้งแต่ 15 ถึง 35 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

- ผลการทดสอบที่ 4.14 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 โดยเปรียบเทียบกันจะพบว่า

1. วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ในกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ

- $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า $SNR = 30$ dB จากการทดสอบพบว่า มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -80 ถึง 80 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา
2. กรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า $SNR = 30$ dB จากการทดสอบจะพบว่า
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3 มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 40 ถึง ± 75 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 5 มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -35 ถึง 35 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศาและ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 35 ถึง ± 65 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 7 มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -20 ถึง 20 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศาและ มุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 20 ถึง ± 75 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 3. วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Burg Algorithm เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7 ที่จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบมีค่า $SNR = 30$ dB ทำการชักตัวอย่างจำนวน $N = 100$ snapshot ในกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่พัลส์ของสัญญาณจางหายไป ดังนั้นจากการทดสอบจะพบว่า
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 50 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 5 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 60 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 60 ถึง 70 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 7 มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 3 ถึง 50 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา และ มุมทิศที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ 50 ถึง 75 snapshot มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา

4.6.3 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต

การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต ได้ทำการทดสอบตามจุดประสงค์ของการศึกษาเปรียบเทียบจะสังเกตผลการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบ สรุปได้ดังต่อไปนี้

- **ผลการทดสอบที่ 4.15** วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต มาใช้เปรียบเทียบในการประมาณหาความถี่ของสัญญาณ จะพบว่า การหาค่าอนุพันธ์ของสัญญาณวิเคราะห์ จากการชักตัวอย่างสัญญาณที่วัดได้ในสายอากาศแต่ละชุดจากการทดสอบจะพบว่า สามารถนำมาใช้ในการประมาณหาความถี่ของสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบได้ แต่ในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทั้ง 2 ลักษณะ จะเห็นได้ว่าความถี่ของสัญญาณจะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น
- **ผลการทดสอบที่ 4.16** การนำวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต มาใช้เปรียบเทียบในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อข้อมูลของสัญญาณวัดได้ในการชักตัวอย่างสัญญาณจากสายอากาศในระบบเครื่องหาทิศทาง แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้
 - แบบที่ 1 การหาผลการแปลงฮิลแบร์ตเพื่อหาสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทาง แล้วนำมาหาค่าอนุพันธ์สัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทาง จะได้ค่า ค่าผลต่างของเฟส นำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ยมุมทิศทางที่เกิดขึ้น
 - แบบที่ 2 การหาผลการแปลงฮิลแบร์ตเพื่อหาสัญญาณวิเคราะห์ในเชิงเวลาก่อน แล้วนำมาหาค่าอนุพันธ์สัญญาณวิเคราะห์ในเชิงระยะทาง จะได้ค่า ค่าผลต่างของเฟส นำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ยมุมทิศทางที่เกิดขึ้น
 1. จากการศึกษาจะพบว่า การนำวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต มาใช้ได้ทั้งในเชิงระยะทางและในเชิงเวลาจากข้อมูลการ snapshot สัญญาณที่วัดได้ในการชักตัวอย่างสัญญาณจากสายอากาศ เพื่อนำไปหาค่าอนุพันธ์ของสัญญาณวิเคราะห์จะเป็น ค่าผลต่างของเฟส ซึ่งนำไปใช้ในประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบ
 2. จากการทดสอบจะพบว่า การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบได้ผลดี ในกรณีสัญญาณไซนูซอยด์ ดังรูปที่ 4.50 สำหรับในกรณีสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะ ในช่วงที่สัญญาณเกิดพัลส์ขึ้นเท่านั้น ดังรูปที่ 4.51 และ 4.52 ตามลำดับ

- ผลการทดสอบที่ 4.17 การนำวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศ ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อเลือกใช้จำนวนสายอากาศที่แตกต่างกัน ($m = 8, 16$ และ 24 ชุด) ที่สัญญาณรบกวนมีค่าแตกต่างกัน ($SNR = 10, 20$ และ 30 dB) จะพบว่า
 1. จากการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศ ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ทั้ง 3 รูปแบบ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 1 จะพบว่า
 - วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อ $m = 8$
 - ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และมุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 30 ถึง ± 50 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา และมุมทิศในช่วงตั้งแต่ ± 30 ถึง ± 50 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อ $m = 16$
 - ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 1 องศา
 - ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -55 ถึง 55 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตแบบที่ 1 เมื่อ $m = 24$
 - ที่ $SNR = 30$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -60 ถึง 60 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ที่ $SNR = 20$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -45 ถึง 45 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 - ที่ $SNR = 10$ dB มุมทิศเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ -40 ถึง 40 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 2 องศา
 2. จากการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศ ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ทั้ง 3 รูปแบบ ด้วยวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต แบบที่ 2 จะพบว่า

