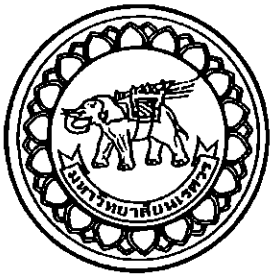


การออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

DESIGNING OF QUANTIZATION USING PARTICLE SWARM ALGORITHM

นายนัทสิทธิ์ ขวดพุดซา รหัส 51364378

งานสารบรรณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 12 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 16074212
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ท 4139 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

ผู้ดำเนินโครงงาน นายนัทสิทธิ์ ขวดพุดซา รหัส 51364378

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ

(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ

(ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนัทสิทธิ์ ขวดพุดซา รหัส 51364378
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

การสื่อสารในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่เป็นระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล การใช้สัญญาณดิจิตอลนั้นมีข้อดีกว่าสัญญาณอนาลอกคือ ทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าสัญญาณอนาลอกและก่อนที่จะได้สัญญาณดิจิตอลนั้นนั้นจะต้องแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และผ่านกระบวนการที่สำคัญคือการออกแบบควอนไทเซชั่นสัญญาณในระหว่างการ ควอนไทเซชั่นจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากการแทนสัญญาณอนาลอกที่มีความต่อเนื่องทางขนาดของสัญญาณไปเป็นสัญญาณ ดิจิตอลที่ไม่มีความต่อเนื่องทางขนาดของสัญญาณ ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำวิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบควอนไทเซชั่น เพื่อให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมาลดน้อยลง กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม จึงได้ถูกนำมาใช้ในโครงงานนี้

โครงงานนี้จำลองการออกแบบควอนไทเซชั่นโดยใช้ โปรแกรมแมทแลป และจะเปรียบเทียบการออกแบบควอนไทเซชั่น ระหว่างวิธีการพาร์ทิเคิลสวอร์ม กับ วิธีการของ Lloyd Max

ผลจากการดำเนินโครงงานนี้สามารถออกแบบควอนไทเซชั่นได้ทั้งจากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม และ กระบวนการ Lloyd Max

Project title	Designing of Quantization Using Particle Swarm Algorithm
Name	Mr. Nattasit Khoadputsa ID. 51364378
Project advisor	Assistant Professor Surachet Kanprachar, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2011

.....

Abstract

Nowadays, most of the communication systems are digital systems. The advantages of using digital signals are that they are more tolerant to noise than analog signals. Quantization, the important process in analog-to-digital conversion, will have noise from replacement of continuous-amplitude signal (analog) by discrete-amplitude signal (digital), mathematical algorithm was therefore used to help design the quantization to reduce noise. Particle Swarm Optimization was used in this project.

Quantization is designed in this project by using MATLAB program, and compared the quantization design using Particle Swarm algorithm to Lloyd-Max algorithm.

The result of this project indicated that Particle Swarm algorithm and Lloyd-Max algorithm can be both used in quantization design.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงานตลอดมา จนสำเร็จดังนี้ พ่อและแม่ที่อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูจนเติบใหญ่และสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาและแนะนำรวมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดมาจนโครงงานสำเร็จ ดร.ชัยรัตน์ พินทอง และ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห คณะกรรมการสอบโครงงานที่ให้คำแนะนำและเสียสละเวลาในการคุมสอบโครงงานนี้ และขอบคุณนางสาวยุพาภรณ์ โพธิ์นอก ให้ความช่วยเหลือบทคัดย่อภาษาอังกฤษ สำนักหอสมุด ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการสืบค้นเนื้อหาและข้อมูลต่างๆ รวมถึงการสืบค้นข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตประกอบการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนและบุคลากรท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงานจนสำเร็จ

นายนัทสิทธิ์ ขวดพุดซา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 3
1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) 4
2.2 Pulse Amplitude Modulation (PAM) 5
2.3 Pulse Code Modulation (PCM) 5
2.4 การควอนไทเซชั่น 5
2.4.1 Uniform quantization 7
2.4.2 Non-uniform quantization 7
2.5 กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม 14
2.5.1 สัญลักษณ์และคำจำกัดความที่ใช้ในวิธีพาร์ทิเคิลสวอร์ม 15
2.5.2 ค่าตัวแปรของพาร์ทิเคิลสวอร์ม 16
2.5.3 ขั้นตอนการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม 17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม 18

2.7 Lloyd Max quantization 24

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและการออกแบบโปรแกรม 28

3.1 วิธีการดำเนินการ 28

3.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมออกแบบควอนไทเซชั่นด้วยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม 29

3.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าต่างๆในโปรแกรม 29

3.4 โปรแกรมแสดงการออกแบบควอนไทเซชั่น 30

3.4.1 ขั้นตอนการรันโปรแกรม 30

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 32

4.1 ค้นหา c_1r_1, c_2r_2, w ในกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มให้ได้ตัวที่เหมาะสมที่สุด และวิเคราะห์ผล 32

4.1.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 34

4.1.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 36

4.1.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 39

4.1.4 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 41

4.2 แสดงตัวอย่างการออกแบบควอนไทเซชั่น 44

4.2.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 $f_X(x) = 1/8$ 44

4.2.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$ 44

4.2.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 $f_X(x) = \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}}$ 45

4.2.4 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 $f_X(x) = 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2)$ 46

4.3 เปรียบเทียบการออกแบบควอนไทเซชั่นแบบพาร์ทิเคิลสวอร์ม กับ Lloyd-Max 47

4.3.1 การออกแบบควอนไทเซชั่น ที่มี PDF แบบ Exponential 47

4.3.2 การออกแบบควอนไทเซชั่น ที่มี PDF แบบ Gaussian 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 การออกแบบควอนไทเซชั่นที่มี PDF แบบ Erlang 50
4.4 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ 52
4.4.1 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Exponential 52
4.4.2 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Gaussian 53
4.4.3 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Erlang 53

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 55
5.1 ผลการดำเนินโครงงาน 55
5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน 56
5.3 ข้อเสนอแนะ 56

เอกสารอ้างอิง 57

ภาคผนวก รหัสโปรแกรมแมทแลปการออกแบบควอนไทเซชั่น 58

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 61

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การทำพาร์ทิเคิลสวอร์มโดยใช้เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม รอบที่ 1 19
2.2 การทำพาร์ทิเคิลสวอร์มโดยใช้เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม รอบที่ 2 19
2.3 การออกแบบควอนไทเซชั่น 4 ระดับ 21
4.1 แสดงการสุ่มค่า r_1c_1, r_2c_2, w 33
4.2 แสดงสัญลักษณ์ของค่า c_1r_1 และค่า c_2r_2 35
4.3 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 36
4.4 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 39
4.5 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 41
4.6 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 43
4.7 แสดงค่า SNR ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการเปรียบเทียบกัน 52

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการ Pulse Code Modulation (PCM) ที่ใช้ 2 บิต ในการเข้ารหัส 5
2.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 8
2.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 11
2.4 การค้นหาน้ำหวานของฝูงผึ้ง 15
2.5 ฝูงผึ้งเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่ง 15
2.6 ฝูงผึ้งค้นพบน้ำหวานที่ดีที่สุด 15
2.7 แผนภาพการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม 18
2.8 กราฟของสมการที่ (2.4) 21
2.9 ค่า *SNR* ที่ได้ทั้ง 20 รอบ 23
2.10 ตัวอย่างการวางระดับของ Lloyd Max 24
2.11 แสดงตำแหน่ง y_i 25
2.12 แสดงตำแหน่ง b_i 25
2.13 แผนภาพการทำงานของ Loyd Max Algorithm 26
3.1 แสดงขั้นตอนการรันโปรแกรม 30
4.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 34
4.2 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 35
4.3 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 10- 18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 35
4.4 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 36
4.5 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 37
4.6 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 37
4.7 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 10- 18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 38
4.8 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 38
4.9 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 39
4.10 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 40
4.11 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 10- 18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 40
4.12 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 40
4.13 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 42

4.15 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 10- 18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 42

4.16 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1 43

4.17 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 1 $f_X(x) = \frac{1}{8}$ 44

4.18 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$ 45

4.19 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$ 45

4.20 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 3 $f_X(x) = \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}}$ 46

4.21 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 3 $f_X(x) = \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}}$ 46

4.22 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 4 $f_X(x) = 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2)$ 47

4.23 SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 4 $f_X(x) = 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2)$ 47

4.24 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Exponential ที่ $f_X(x) = \frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$ 48

4.25 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Exponential ที่ $f_X(x) = \frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$ 48

4.26 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}2}e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$ 49

4.27 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}2}e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$ 50

4.28 แสดงค่า PDF ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Erlang ที่ $f_X(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$ 50

4.29 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Erlang ที่ $f_X(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$ 51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่น (PSO) จัดเป็นวิธีการค้นหาแบบสุ่มโดยอาศัย จุดเริ่มต้นหลายจุดซึ่งอาศัยหลักการที่ประยุกต์มาจากหลักการทางจิตวิทยาสังคมพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่น แสดงให้เราเห็นถึง พฤติกรรมทางสังคมได้ดีพอๆ กับการใช้งานในการแก้ไขปัญหาของวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่น ช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุดในปัญหายากๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

ในกระบวนการทำควอนไทเซชั่น ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่าง PDF ของสัญญาณเพื่อที่จะลดกำลังของสัญญาณรบกวนให้ได้น้อยที่สุด ควรวางระดับของควอนไทเซชั่น ให้ห่างกันเป็นช่วงแคบๆที่บริเวณ PDF ของสัญญาณมีค่าสูงๆและ กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม น่าจะเป็นกระบวนการที่สามารถทำให้เราออกแบบควอนไทเซชั่น เพื่อลดกำลังงานของสัญญาณรบกวนลงได้ จึงได้นำมาเป็นขั้นตอนที่น่าศึกษาค้นคว้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อศึกษากระบวนการการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม และนำไปประยุกต์เพื่อหาผลเฉลยเพื่อให้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
2) เพื่อศึกษากระบวนการออกแบบควอนไทเซชั่น
3) เพื่อออกแบบควอนไทเซชั่นด้วยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม
4) เพื่อสร้างโปรแกรมออกแบบควอนไทเซชั่นด้วยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม
5) เปรียบเทียบค่า SNR ที่ได้จากการออกแบบควอนไทเซชั่นโดยพาร์ทิเคิลสวอร์มกับค่า SNR ที่ได้จาก Lloyd-Max

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษากระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม
2) ศึกษากระบวนการควอนไทเซชั่น
3) ศึกษากระบวนการ Lloyd Max ควอนไทเซชั่น
4) เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ออกแบบควอนไทเซชั่นด้วยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) หาหัวข้อโครงงานที่สนใจ										
2) ศึกษาการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์มและควอนไทเซชั่น										
3) เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ออกแบบควอนไทเซชั่นตามกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม										
4) ทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ทำขึ้นมาและทำการเก็บผลการทดสอบตามวัตถุประสงค์										
5) สรุปผลการดำเนินโครงงานและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการ พาร์ทิเคิลสวอร์ม และ Lloyd Max
2) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับควอนไทเซชั่น
3) นำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านการออกแบบควอนไทเซชั่น

1.6 งบประมาณ

ค่าวัสดุสำนักงาน	200 บาท
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	500 บาท
ค่าถ่ายเอกสาร	300 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หนึ่งพันบาทถ้วน)	1,000 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การสื่อสารในปัจจุบัน โดยส่วนมากเป็นการสื่อสารดิจิตอล การใช้สัญญาณดิจิตอลในการสื่อสารนั้นมีข้อได้เปรียบกว่า สัญญาณอนาลอกหลายประการเป็นต้นว่าสัญญาณดิจิตอลมีระดับที่แน่นอน การได้สัญญาณเดิมกลับคืนมาอย่างถูกต้องนั้นทำได้ดีกว่าสัญญาณอนาลอก กล่าวอีกนัยหนึ่งคือทนต่อสัญญาณรบกวนดีกว่าสัญญาณอนาลอกและก่อนที่จะได้สัญญาณดิจิตอลนั้นจะต้องนำสัญญาณข้อมูลที่เป็นอนาลอกผ่านกระบวนการ Pulse Amplitude Modulation (PAM) แล้วนำสัญญาณ PAM ที่ได้นี้ไปเข้ากระบวนการ Pulse Code Modulation (PCM) โดยการทำ PCM นี้จะมีวิธีหนึ่งที่เรียกว่าควอนไทเซชั่น จะเป็นการกำหนดให้สัญญาณอนาลอกที่รับมาควรมีเลขดิจิตอลอย่างไร กระบวนการทำควอนไทเซชั่น จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญในการแปลงสัญญาณอนาลอกมาเป็นดิจิตอลวิธีการที่กล่าวมาจะได้อธิบายไว้ดังนี้

2.1 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

สัญญาณที่ต้องการส่งไม่ได้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตอลนั่นคือแหล่งกำเนิดของข้อมูลไม่ได้แทนด้วยสัญญาณดิจิตอล จึงต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยขบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog-to-Digital conversion, ADC, A/D) และสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางขนาด ดังนั้นจะต้องถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่องทางขนาดทำได้โดยการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) เป็นการตัดสุ่มสัญญาณอนาลอกออกเป็นช่วงๆด้วยความถี่ ของการสุ่ม (Sampling frequency, f_S) สัญญาณเดิมจะถูกเปลี่ยนกลับคืนมาได้อย่างครบถ้วนนั้นต้องมีข้อจำกัดที่สำคัญกล่าวไว้ในทฤษฎีบท การสุ่มตัวอย่างของ Shannon คือความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจะต้องสูงกว่า ความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการสุ่มนี้เป็นสองเท่าขึ้นไปถ้าสัญญาณที่ต้องการสุ่มตัวอย่างมีความถี่สูงสุดเป็น f_M ความถี่ของการสุ่มตัวอย่างต้องเป็น [2]

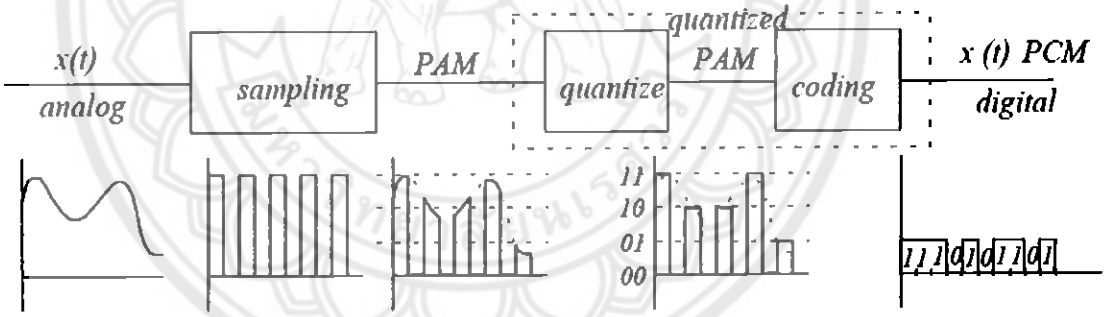
$$f_S \geq 2f_M \tag{2.1}$$

2.2 Pulse Amplitude Modulation (PAM)

PAM คือการมอดูเลตทางแอมปลิจูดของพัลส์ โดยอาศัยหลักการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณที่เป็นอนาลอกตามช่วงเวลา ทำให้สัญญาณนั้นขาดจากกันเป็นพัลส์ๆ โดยขนาดของแต่ละ พัลส์จะเท่ากับขนาดของสัญญาณเดิมในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งการสุ่มตัวอย่างจะทำด้วยอัตราส่วนเป็นสองเท่าของสัญญาณอนาลอก หรืออัตราการสุ่มไนควิสต์ (Nyquist rate) [1] ตามสมการที่ (2.1)

2.3 Pulse Code Modulation (PCM)

PCM คือการนำสัญญาณ PAM มาทำการปรับระดับขนาดของพัลส์นี้ให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ โดยเรียกขั้นตอนนี้ว่าการควอนไทเซชั่น จากนั้นจึงเข้ารหัสของพัลส์ที่ได้นี้ การที่พัลส์มีขนาดต่างๆเมื่อถูกจัดเข้ากับระดับที่กำหนดไว้จะทำให้เกิดความผิดพลาดหรือความแตกต่างจากการปรับระดับนี้ เรียกว่า สัญญาณรบกวนจากการควอนไทเซชั่น (Quantization noise) รูปที่ 2.1 แสดงการเข้ารหัสสัญญาณ PAM ถ้ากำหนดระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไว้ 4 ระดับก็จะใช้รหัสฐานสอง 2 บิต แทนสัญญาณแต่ละระดับ [2]



รูปที่ 2.1 กระบวนการ Pulse Code Modulation (PCM) ที่ใช้ 2 บิต ในการเข้ารหัส [2]

2.4 การควอนไทเซชั่น

เป็นหนึ่งในกระบวนการทำ PCM เพื่อให้ได้สัญญาณดิจิตอลที่ใกล้เคียงกับสัญญาณอนาลอกเดิมมากที่สุดโดยใช้จำนวนบิตในการแทนสัญญาณและแบ่งระดับของสัญญาณ ตัวอย่างเช่น จำนวนบิตที่เราใช้มี 3 บิต จะมีจำนวนระดับเท่ากับ $2^3 = 8$ ระดับ ในการควอนไทซ์สัญญาณอนาลอกเท่าใดก็ตาม จะถูกจัดเข้าเป็นระดับ 8 ระดับนี้เท่านั้น

ในขั้นตอนการแปลงสัญญาณดิจิตอลกลับไปเป็นสัญญาณอนาลอกอาจทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสัญญาณอนาลอกเดิมกับสัญญาณอนาลอกที่แปลงกลับจากสัญญาณดิจิตอลดังกล่าว จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากการควอนไทเซชั่นขึ้น

เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากการควอนไทเซชั่น เราสามารถปรับระดับควอนไทเซชั่นได้ตามความเหมาะสมกับการกระจายทางสถิติของสัญญาณอินพุต เพื่อให้ได้อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน เราควรทราบความสัมพันธ์ระหว่าง

1. การกระจายทางสถิติ (PDF) ของสัญญาณอินพุต
2. จำนวนระดับในการควอนไทซ์สัญญาณ (Number of quantization level, M)
3. ระดับการควอนไทซ์ (Quantization level, $\tilde{x}_k$)

ทั้งสามค่าดังกล่าวมีความสำคัญสำหรับการควอนไทซ์สัญญาณ เมื่อทราบค่าเหล่านี้แล้วสามารถทำการหาค่าอัตราส่วนระหว่าง กำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน ได้จากสมการที่ (2.2)

$$SNR = \frac{P_{Signal}}{P_{Noise}} \tag{2.2}$$

และจากการทราบระดับของ ควอนไทเซชั่น ($\tilde{x}_k$) แล้วต่อไปควรทราบขอบเขตในการอินทิเกรท (Boundary of quantization) ของแต่ระดับขั้นเพราะสัญญาณเป็นแบบ PDF จะมีขอบเขตที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 สามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$x_i = \begin{cases} \min\{x\} & ;i = 0 \\ \dfrac{\tilde{x}_i + \tilde{x}_{i+1}}{2} & ;i = 1,2,...,M-1 \\ \max\{x\} & ;i = M \end{cases} \tag{2.3}$$

ซึ่งจะได้ ขอบเขตในการอินทิเกรท (Boundaries, x_k) มีจำนวนเท่ากับ M+1 และ M คือจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น และการหากำลังของสัญญาณ (P_{signal}) หาได้จากสมการที่ (2.4)

$$P_{Signal} = E\left[x^2\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_X(x)dx \tag{2.4}$$

โดยที่ $f_X(x)$ คือ PDF ของสัญญาณและกำลังของสัญญาณรบกวน (P_{signal}) หาได้จากสมการที่ (2.5)

$$P_{Noise} = \sum_{k=1}^{M} \bar{e}_k^2 \tag{2.5}$$

โดยที่ $$\bar{e}_k^{\,2} = \int_{x_{k-1}}^{x_k} (x - \tilde{x}_k)^2 f_X(x) dx \qquad (2.6)$$

เมื่อ $f_X(x)$ คือ PDF ของสัญญาณ เมื่อทำการคำนวณหา P_{Signal} และ P_{Noise} ได้แล้ว นำไปแทนค่าในสมการที่ (2.2) ก็จะได้ค่า SNR แล้วแปลงค่า SNR นี้ให้อยู่ในหน่วยที่เป็นเดซิเบลดังสมการที่ (2.7)

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR) \qquad (2.7)$$

2.4.1 Uniform quantization

คือ การควอนไทซ์สัญญาณที่มีระยะห่างของระดับ ควอนไทซ์ Quantization level ($\tilde{x}_k$) ที่เท่ากัน

2.4.2 Non-uniform quantization

คือ การควอนไทซ์สัญญาณที่มีระยะห่างของระดับควอนไทซ์ Quantization level ($\tilde{x}_k$) ที่ไม่เท่ากัน

เนื่องจากสัญญาณอินพุตมี PDF ทั้งเป็นแบบ Uniform และ Non-uniform ในการออกแบบควอนไทเซชั่น ต้องวางตำแหน่งของระดับการควอนไทซ์ ให้เหมาะสมว่าควรเลือกการควอนไทซ์แบบไหน ตามสัญญาณอินพุตนั้นเพื่อให้เกิดระดับการควอนไทซ์ น้อยที่สุดนั่นหมายถึงการได้ค่า SNR ที่มากที่สุดนั่นเอง

เพื่อให้เห็นถึงวิธีการเลือกระดับการควอนไทซ์ ที่เหมาะสมต่อไปนี้เป็นตัวอย่างวิธีการคำนวณการควอนไทซ์สัญญาณมีสองตัวอย่าง แล้วจะนำตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างนี้มาเปรียบเทียบกันว่าควรจะเลือกวิธีการใดให้เหมาะสมกับ PDF ของสัญญาณ

ตัวอย่างที่ 1 กำหนด PDF ของสัญญาณดังสมการ [3]

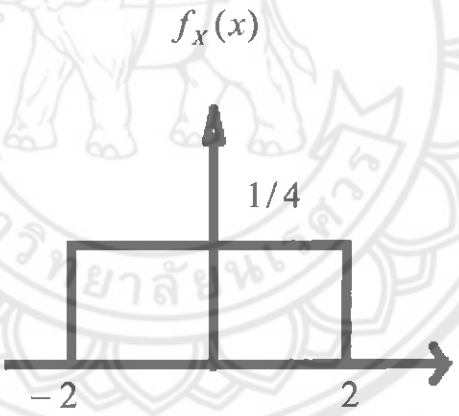
$$f_X(x)=\begin{cases}\frac{1}{4} & ;-2\le x\le 2\\ 0 & ;otherwise\end{cases} \tag{2.8}$$

ต่อไปจะแสดงวิธีการหา SNR_{dB} ของสัญญาณอินพุตดังกล่าวนี้ โดยมีจำนวนระดับการควอนไทซเท่ากับ 4 ระดับ และกำหนดขั้นในการควอนไทซ์ $(\tilde{x}_k)$ ดังนี้

Uniform quantization level $\Rightarrow \tilde{x}_k$ = {-1.5, -0.5, 0.5, 1.5} (2.9)

Non-uniform quantization level $\Rightarrow \tilde{x}_k$ = {-1.8, -0.4, 0.4, 1.8} (2.10)

วิธีทำ จาก PDF ของสัญญาณ ที่โจทย์กำหนดให้ สามารถเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1

จาก Uniform quantization level $\tilde{x}_k$ = {-1.5, -0.5, 0.5, 1.5} (2.11)

ขอบเขตหรือ Boundary of quantization ของการอินทิเกรทซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.3) ดังนั้นจะได้ขอบเขตเท่ากับ

$$x_k=\{-2, -1, 0, 1, 2\} \tag{2.12}$$

กำลังของสัญญาณสามารถหาได้จาก PDF ของสัญญาณ ที่โจทย์กำหนดมาให้ ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$P_{signal} = E\left[x^2\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_X(x)dx = \frac{1}{4}\int_{-2}^{2} x^2 dx = 1.333 \quad \text{W} \tag{2.13}$$

กำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ 4 ระดับ หาได้จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) และขอบเขตจากสมการที่ (2.8) ดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
&\text{ที่ } k=1 \text{ จะได้ } \overline{e_1^2} = \frac{1}{4}\int_{-2}^{-1}(x+1.5)^2 dx = 0.02083 \\
&\text{ที่ } k=2 \text{ จะได้ } \overline{e_2^2} = \frac{1}{4}\int_{-1}^{0}(x+0.5)^2 dx = 0.02083 \\
&\text{ที่ } k=3 \text{ จะได้ } \overline{e_3^2} = \frac{1}{4}\int_{0}^{1}(x-0.5)^2 dx = 0.02083 \\
&\text{ที่ } k=4 \text{ จะได้ } \overline{e_4^2} = \frac{1}{4}\int_{1}^{2}(x-1.5)^2 dx = 0.02083 \\
&\therefore P_{noise} = \sum_{k=1}^{4}\overline{e_k^2} = 0.083 \quad \text{W}
\end{aligned}\right\} \tag{2.14}$$

เมื่อทราบค่าดังนั้นค่า P_{signal} และ P_{noise} จากสมการที่ (2.13) และ (2.14) แล้ว ดังนั้นสามารถหาค่า SNR สำหรับ Uniform quantization นี้ได้จากดังสมการที่ (2.2) และแปลงให้เป็นหน่วยเดซิเบลได้ดังสมการที่ (2.7)

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{1.333}{0.083} = 16.060 \tag{2.15}$$

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR) = 12.06 \quad \text{dB} \tag{2.16}$$

จาก Non-uniform quantization level $\tilde{x}_k$ = {-1.8, -0.4, 0.4, 1.8} (2.17)

ขอบเขตหรือ Boundary of quantization ของการอินทิเกรท ซึ่งจะสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.3) ดังนี้จะได้

$$x_k = \{-2, -1.1, 0, 1.1, 2\} \tag{2.18}$$

กำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ 4 ระดับ หาได้จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) และขอบเขตจะได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
&\text{ที่ } k\text{=1 จะได้ } \overline{e_1^2} = \frac{1}{4}\int_{-2}^{-1.1}(x+1.8)^2\,dx = 0.02925 \\
&\text{ที่ } k\text{=2 จะได้ } \overline{e_2^2} = \frac{1}{4}\int_{-1.1}^{0}(x+0.4)^2\,dx = 0.0339 \\
&\text{ที่ } k\text{=3 จะได้ } \overline{e_3^2} = \frac{1}{4}\int_{0}^{1.1}(x-0.4)^2\,dx = 0.0339 \\
&\text{ที่ } k\text{=4 จะได้ } \overline{e_4^2} = \frac{1}{4}\int_{1.1}^{2}(x-1.8)^2\,dx = 0.02925 \\
&\therefore P_{noise} = \sum_{k=1}^{4}\overline{e_k^2} = 0.1268 \quad \text{W}
\end{aligned}\right\} \tag{2.19}$$

เมื่อทราบค่า ดังนั้นค่า P_{signal} และ P_{noise} แล้วจากสมการที่ (2.18) และ (2.19) ดังนั้นสามารถหาค่า SNR สำหรับ Non-uniform quantization นี้ได้จากสมการที่ (2.2) และทำให้หน่วยเป็นเดซิเบลได้ดังสมการที่ (2.7)

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{1.333}{0.1268} = 10.51 \tag{2.20}$$

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR) = 10.22 \quad \text{dB} \tag{2.21}$$

เปรียบเทียบค่า SNR_{dB} ที่ได้จากการคำนวณเมื่อ PDF ของสัญญาณนั้นเป็นแบบ Uniform จะได้เห็นว่าการออกแบบควอนไทซ์แบบ Uniform quantization จะได้ค่า SNR_{dB} ที่สูงกว่า แบบ Non-uniform quantization

ตัวอย่างที่ 2 กำหนด PDF ของสัญญาณดังสมการ [4]

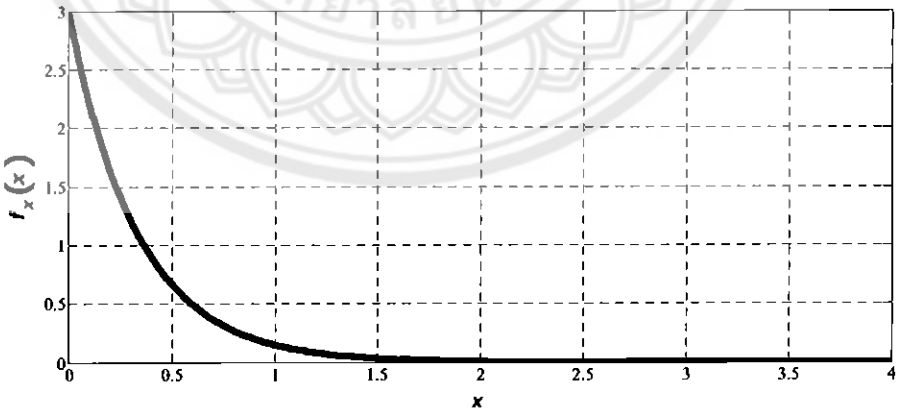
$$f_X(x) = \begin{cases} 3e^{-3x} & ;x \geq 0 \\ 0 & ;otherwise \end{cases} \tag{2.22}$$

ต่อไปจะแสดงวิธีการหาค่า SNR_{dB} ของสัญญาณอินพุตดังกล่าวนี้ โดยมีจำนวนระดับของการควอนไทซ์เท่ากับ 4 ระดับ และกำหนดขั้นระดับในการควอนไทซ์ $(\tilde{x}_k)$ ดังนี้

$$\text{Uniform quantization level} \Rightarrow \tilde{x}_k = \{0.5,\ 1.0,\ 1.5,\ 2\} \tag{2.23}$$

$$\text{Non-uniform quantization level} \Rightarrow \tilde{x}_k = \{0.2,\ 0.8,\ 1.5,\ 3\} \tag{2.24}$$

วิธีทำ จาก PDF ของสัญญาณ ที่โจทย์กำหนดมาให้สามารถเขียนกราฟได้ดัง**รูปที่** 2.3



รูปที่ 2.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2

จาก Uniform quantization level $\tilde{x}_k = \{0.5, 1.0, 1.5, 2, 0\}$ (2.25)

ขอบเขตหรือ Boundary of quantization ของการอินทิเกรตซึ่งจะหาได้จากสมการที่ (2.2) ดังนั้นจะได้ ขอบเขตเท่ากับ

$$x_k = \{0, 0.75, 1.25, 1.75, \infty\} \tag{2.26}$$

กำลังงานของสัญญาณสามารถหาได้จาก PDF ของสัญญาณจากที่โจทย์กำหนดมาให้ดังสมการที่ (2.4)

$$P_{signal} = E\left[x^2\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_x(x)dx = 3\int_0^{\infty} x^2 e^{-3x}dx = \frac{2}{9} \quad \text{W} \tag{2.27}$$

กำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ 4 ระดับ หาได้จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) และขอบเขต ดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
\text{ที่ } k=1 \;\; \bar{e}_1^2 &= 3\int_0^{0.75}(x-0.5)^2 e^{-3x}dx = 0.0913128 \\
\text{ที่ } k=2 \;\; \bar{e}_2^2 &= 3\int_{0.75}^{1.25}(x-1)^2 e^{-3x}dx = 0.00182733 \\
\text{ที่ } k=3 \;\; \bar{e}_3^2 &= 3\int_{1.25}^{1.75}(x-1.5)^2 e^{-3x}dx = 0.004073 \\
\text{ที่ } k=4 \;\; \bar{e}_4^2 &= 3\int_{1.75}^{\infty}(x-2)^2 e^{-3x}dx = 0.00062952 \\
P_{noise} &= \sum_{k=1}^{4}\bar{e}_k^2 = 0.09417695 \text{ W}
\end{aligned}\right\} \tag{2.28}$$

เมื่อทราบค่าดังนั้นค่า P_{signal} และ P_{noise} จากสมการที่ (2.26) และ (2.27) แล้วดังนั้นสามารถหาค่า SNR สำหรับ Uniform quantization นี้ได้จากดังสมการที่ (2.1) และแปลงให้เป็นหน่วยเดซิเบลได้ดังสมการที่ (2.6) ได้

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{2/9}{0.09417695} = 2.3596 \tag{2.29}$$

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR) = 3.73 \quad \text{dB} \tag{2.30}$$

จาก Non-uniform quantization level $\tilde{x}_k = \{0, 2, 0.8, 1.5, 5.3\}$ (2.31)

ขอบเขตหรือ Boundary of quantization ของการอินทิเกรทซึ่งหาได้ดังนี้จะได้

$$x_k = \{0, 0.5, 1, 1.5, 2.25, \infty\} \quad (2.32)$$

กำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ 4 ระดับ หาได้จากสมการ (2.4) และ (2.5) และขอบเขตดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
\text{ที่ } k=1 \ \bar{e}_1^2 &= 3\int_0^{0.5}(x-0.2)^2 e^{-3x}dx = 0.0146 \\
\text{ที่ } k=2 \ \bar{e}_2^2 &= 3\int_{0.5}^{1.15}(x-0.8)^2 e^{-3x}dx = 0.0067 \\
\text{ที่ } k=3 \ \bar{e}_3^2 &= 3\int_{1.15}^{3.25}(x-1.5)^2 e^{-3x}dx = 0.00203 \\
\text{ที่ } k=4 \ \bar{e}_4^2 &= 3\int_{3.25}^{\infty}(x-3)^2 e^{-3x}dx = 0.00032 \\
P_{noise} &= \sum_{k=1}^{4}\bar{e}_k^2 = 0.02365 \quad \text{W}
\end{aligned}\right\} \quad (2.33)$$

เมื่อทราบค่า ดังนั้นค่า P_{signal} และ P_{noise} แล้วดังนั้นสามารถหาค่า SNR สำหรับแบบ Non-uniform quantization นี้ได้จากสมการที่ (2.1) และทำให้หน่วยเป็นเดซิเบลได้ดังสมการที่ (2.6)

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{2/9}{0.02365} = 9.3963 \quad (2.34)$$

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR) = 9.73 \quad \text{dB} \quad (2.35)$$

เปรียบเทียบค่า SNR_{dB} ที่ได้จากการคำนวณ เมื่อ PDF ของสัญญาณ แบบ Non-uniform จะเห็นได้ว่าการทำควอนไทซ์แบบ Non-uniform quantization จะได้ค่า SNR_{dB} ที่มีค่าสูงกว่า แบบ Uniform quantization

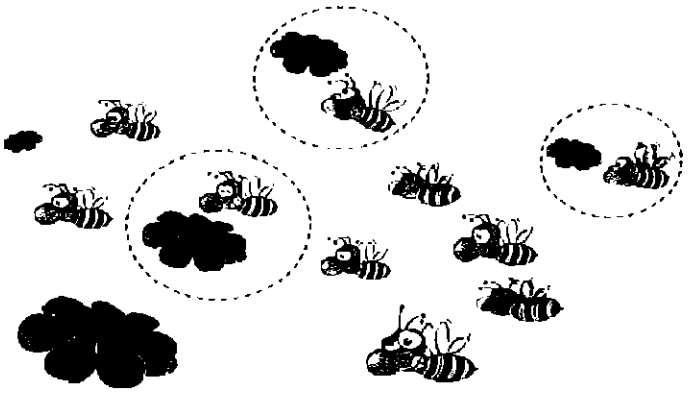
ค่าจากการคำนวณทั้งสองตัวอย่างพบว่า PDF ของสัญญาณมีการกระจายทางสถิติแบบ Uniform แล้วควรเลือกควอนไทซ์สัญญาณแบบ Uniform quantization จึงได้ค่า SNR ที่สูงกว่า และเช่นเดียวกัน ถ้า PDF ของสัญญาณมีการกระจายทางสถิติแบบ Non-uniform quantization แล้วก็ควรเลือกควอนไทซ์สัญญาณแบบ Non-uniform quantization จึงจะได้ค่า SNR ที่สูงกว่า

แต่อย่างไรก็ตามจากตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างยังไม่สามารถบอกได้ว่าค่า *SNR* ที่ได้จากการคำนวณนั้นเป็นค่าที่ดีที่สุดบอกได้แค่ว่าควรเลือกใช้ ควอนไทซ์แบบใดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ *SNR* ที่ดีขึ้น

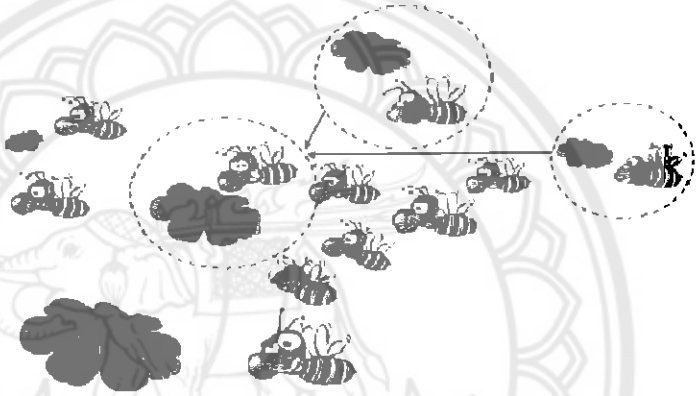
จากตัวอย่างที่ 2 การควอนไทซ์แบบ Non-uniform quantization จะได้ค่า SNR_{dB} ที่สูงกว่าแบบ Uniform quantization ค่าที่ใช้ในการนำมาคำนวณเป็นค่าที่สุ่มขึ้นมา ตามทฤษฎีแล้วควรสุ่มค่าให้อยู่ในบริเวณที่สูงสุดของกราฟที่ได้จากสมการ PDF จึงต้องนำกระบวนการอย่างหนึ่งเข้ามาหาค่าของระดับควอนไทเซชั่น หลังจากการสุ่มในครั้งแรก กระบวนการนั้นคือ พาร์ทิเคิลสวอร์ม เพื่อให้ได้ระดับของควอนไทเซชั่น ที่เหมาะสมจะอธิบายเกี่ยวกับ กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มดังต่อไปนี้

2.5 กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม [5]

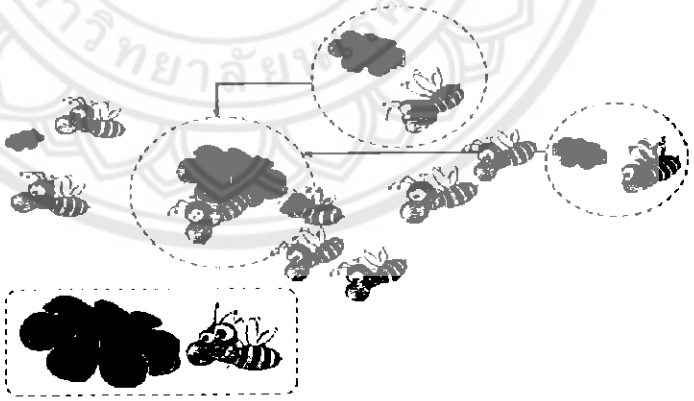
วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่น (PSO) จัดเป็นวิธีการค้นหาแบบสุ่มโดยอาศัย จุดเริ่มต้นหลายจุดซึ่งอาศัยหลักการที่ประยุกต์มาจากหลักการทางจิตวิทยาสังคม พาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่น แสดงให้เราเห็นถึงพฤติกรรมทางสังคมได้ดีพอๆกับการใช้งานในการแก้ไขปัญหาของวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่นช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุดในปัญหายากๆได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอร์ม เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์มีวิวัฒนาการเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาทางสถิติมีแนวคิดมาจาก การสังเกตเห็นพฤติกรรมของสัตว์ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือพฤติกรรมของฝูงผึ้งในการหาน้ำหวาน ในตอนแรกฝูงผึ้งจะแยกตัวกันออกหาน้ำหวาน ผลลัพธ์ที่ได้คือมีผึ้งจำนวนหนึ่งที่พบน้ำหวานจากดอกไม้ ดังรูปที่ 2.4 และ จะทำการส่งสัญญาณบอกผึ้งตัวอื่นๆ ในฝูงให้บินมาบริเวณใกล้ๆที่มีน้ำหวานที่มากกว่าและ ดีกว่าบริเวณอื่นและทำการออกหาน้ำหวานใกล้บริเวณนั้นตามรูปที่ 2.5 ซึ่งจะทำให้ค้นพบน้ำหวานที่มีคุณภาพดี การส่งสัญญาณจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนสามารถหาน้ำหวานที่ดีที่สุดดังรูปที่ 2.6 ได้พฤติกรรมดังกล่าว



รูปที่ 2.4 การค้นหาน้ำหวานของฝูงผึ้ง [6]



รูปที่ 2.5 ฝูงผึ้งเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ดีกว่าเดิม [6]



รูปที่ 2.6 ฝูงผึ้งค้นพบน้ำหวานที่ดีที่สุด [6]

2.5.1 สัญลักษณ์และคำจำกัดความที่ใช้ในวิธีพาร์ทิเคิลสวอร์ม

- พาร์ทิเคิล (Particle) คือ สมาชิกตัวหนึ่งในประชากร (Population) โดยพาร์ทิเคิลหนึ่งตัว

ประกอบด้วย ตำแหน่ง (Position) และความเร็ว (Velocity) ตัวพาร์ทิเคิลรู้ตำแหน่งปัจจุบันของมัน และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้นๆ ตัวพาร์ทิเคิลรู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ตัวมันเองเคยหาเจอ ที่เรียกว่า Personal Best Position รู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่ม และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้นๆ

- ประชากร หรือ ฝูง (Swarm) คือ เซตของกลุ่มพาร์ทิเคิล K ตัว ตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ K

- ตำแหน่งของพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ d ถูกเขียนแทนด้วย $x_{i,d}$

- ค่าความเหมะสม (Fitness Value): $f_X(x)$ คือ ค่าของคำตอบที่แปลงมาจากตำแหน่ง

- ความเร็ว (Velocity): V ตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ t ถูกเขียนแทนด้วย $v_{i,d}$

- น้ำหนักแรงเฉื่อย (Inertia Weight): w คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของความเร็วที่การวนซ้ำก่อนหน้าที่จะมีผลต่อความเร็วในการวนซ้ำปัจจุบันของตัวพาร์ทิเคิลทั้ง K ตัว

- ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal Best Position): *P_best* คือ ตำแหน่งที่ถูกพบโดยตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยเขียนแทนด้วย

$$P\_best = (P\_best1, P\_best2, P\_best3, \ldots, P\_best(d))$$

- ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global Best Position): *G_best* เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ถูกพบโดยฝูง โดยเขียนแทนด้วย

$$G\_best = (G\_best1, G\_best2, G\_best3, \ldots, G\_best(d))$$

2.5.2 ค่าตัวแปรของพาร์ทิเคิลสวอร์ม

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นจะต้องกำหนดค่าลงไปเพื่อให้ PSO สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

1. จำนวนพาร์ทิเคิลกำหนดเพื่อที่จะแสดงถึงจำนวนพาร์ทิเคิล ที่จะทำการศึกษาในแต่ละรอบโดยการกำหนดจะต้องให้มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มบวก

2. จำนวนรอบจะต้องกำหนดเพื่อแสดงถึงจำนวนรอบที่จะให้พาร์ทิเคิล ค้นหาค่าคำตอบที่สำคัญจะทำให้ทราบว่าโปรแกรมจะสิ้นสุดเมื่อใดในการกำหนดค่าจะต้องเป็นจำนวนเต็มบวก

3. ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) ใช้ถ่วงน้ำหนักค่าอัตราเร็ว (Velocity) ในรอบที่ผ่านมา

ยกตัวอย่าง ถ้า w เท่ากับ 0.1 ก็หมายความว่าค่าอัตราเร็ว ใหม่จะเอาข้อมูลของอัตราเร็ว ในรอบที่ผ่านแค่ 10% มาใช้ในการคำนวณ

4. ค่าปัจจัยการเรียนรู้ของพาร์ทิเคิล (c_1 และ c_2) โดยได้แบ่งเป็นปัจจัยการเรียนรู้ของตนเอง (c_1) และปัจจัยการเรียนรู้ของกลุ่ม (c_2)

2.5.3 ขั้นตอนการทำงานของ พาร์ทิเคิลสวอร์ม

1. กำหนดค่าเริ่มต้นให้แต่ละพาร์ทิเคิล ด้วยการสุ่มดังนี้

-กำหนดค่า D คือมิติของพื้นที่ค่าคำตอบของปัญหา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n และ กำหนด

-ค่าตำแหน่ง $X_{id} = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, ...X_{in})$ (2.36)

-ค่าอัตราเร็ว $V_{id} = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, ...V_{in})$ (2.37)

-กำหนดค่า c_1 และ c_2 ซึ่งเป็นค่าคงที่ของระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวพาร์ทิเคิล

-การกำหนดค่า r_1 และ r_2 เป็นการสุ่มค่าที่อยู่ในช่วง [0, 1]

2. ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละพาร์ทิเคิลซึ่งได้จากการคำนวณหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากสมการฟังก์ชันเป้าหมาย

3. เปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้ ในครั้งแรกให้ P_best เท่ากับ G_bast ค่า P_best คือ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดแบบโลคอลสามารถหาได้จากค่าที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากทุกตำแหน่งในกลุ่ม จากนั้นจะนำค่าที่ได้ดังกล่าวมาเลือกค่าที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าที่ดีที่สุดในกลุ่มตั้งแต่เริ่มคำนวณจนถึงปัจจุบันนั้นก็คือค่า G_best

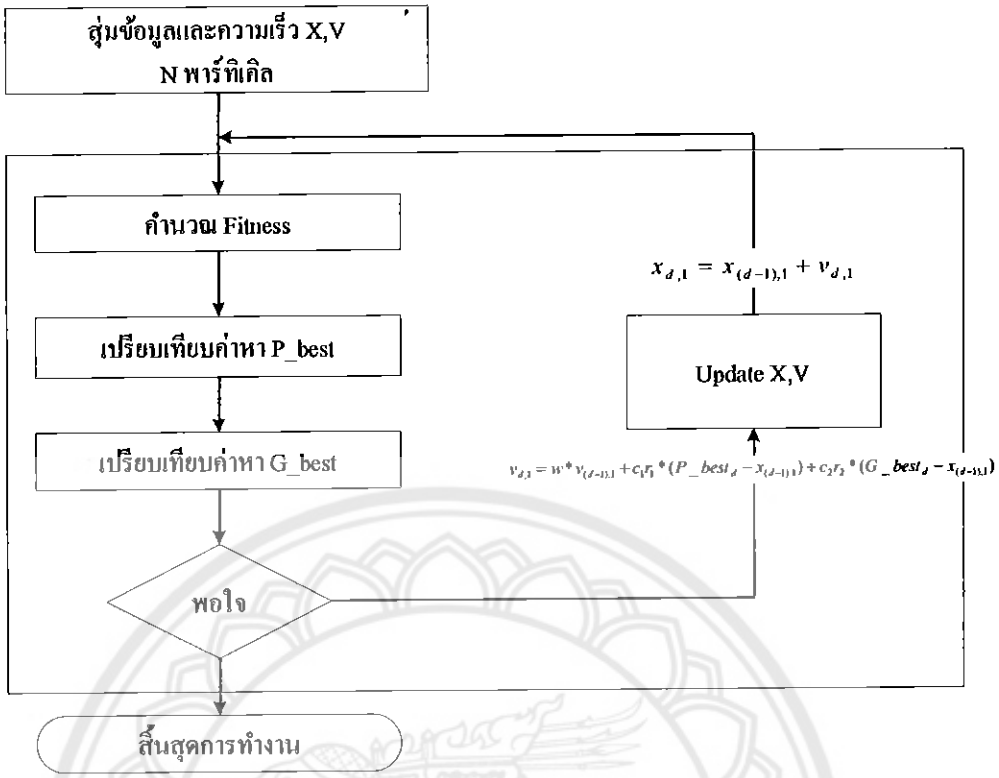
4. ปรับปรุงค่าอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ในรอบการทำงานของแต่ละตัวพาร์ทิเคิลด้วยสมการที่ (2.37)

$$V_{id} = w * V_{id-1} + c1 * r1 * (Pbest_{id} - X_{id-1}) + c2 * r2 * (Gbest - X_{id-1}) \quad (2.38)$$

ปรับปรุงค่าตำแหน่งในรอบการทำงานของแต่ละพาร์ทิเคิล ด้วยสมการที่ (2.39)

$$X_{id} = X_{id-1} + V_{id} \quad (2.39)$$

ทำการวนซ้ำจนกระทั่งพบค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ก็จบการทำงาน จากขั้นตอนการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม ข้างต้นสามารถเขียนสรุปเป็นแผนภาพการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์มได้ดัง รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม [6]

จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้เพียงแค่ค่าเดียว แต่ในการออกแบบควอนไทเซชั่น เราต้องการค่าที่เหมาะสมออกมาตามจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น ดังนั้นจึงต้องนำกระบวนการเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม เข้ามาช่วยในการออกแบบ จะอธิบายหลักการของเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม ดังต่อไปนี้

2.6 เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม

มีหลักการดังนี้

1. กำหนดจำนวนเวกเตอร์ขึ้นมา

2. กำหนดจำนวนสมาชิกของเวกเตอร์แต่ละตัว หรือตามจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น

จากตารางที่ 2.1 เป็นการทำงานของกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม ในครั้งแรกเรากำหนดเวกเตอร์ขึ้นมา 3 ตัวคือ $X_{1,1}, X_{1,2}, X_{1,3}$ แต่ละตัวจะประกอบด้วยจำนวนสมาชิกสองตัว สมาชิกทั้งสองตัวจะให้ค่า SNR ออกมาคือ $SNR_{1,1}$, $SNR_{1,2}$, $SNR_{1,3}$ จากนั้นนำค่า SNR ทั้ง 3 ค่ามาเปรียบเทียบกันสมมุติให้ $SNR_{1,2}$ มีค่ามากที่สุดจึงได้ $P\_best = x_{1,21}, x_{1,22}$ เป็นการทำงานในรอบแรกจึงได้ค่า $P\_best = G\_best$

ตารางที่ 2.1 การทำพาร์ทิเคิลสวอร์มโดยใช้เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์มรอบที่ 1

รอบที่ 1		
$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{1,3}$
$x_{1,11}$ $x_{1,12}$	$x_{1,21}$ $x_{1,22}$	$x_{1,31}$ $x_{1,32}$
$SNR_{1,1}$	$SNR_{1,2}$	$SNR_{1,3}$
$SNR_{1,2} > SNR_{1,1} > SNR_{1,3}$		
$P\_best_1 = x_{1,21}\ x_{1,22} = G\_best_1$		

แต่จากตารางที่ 2.1 เป็นกระบวนการทำพาร์ทิเคิลสวอร์มในรอบที่ 2 สมมุติให้การทำงานในรอบนี้ได้ค่า *SNR* ที่ดีที่สุดจากเวกเตอร์ตัวแรก และเป็น *SNR* ที่ดีกว่าในตารางที่ 1 จึงทำให้ได้ G_best ใหม่เป็น $x_{1,21}, x_{1,22}$

ตารางที่ 2.2 การทำพาร์ทิเคิลสวอร์มโดยใช้เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์มรอบที่ 2

รอบที่ 2		
$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$X_{2,3}$
$x_{2,11}$ $x_{2,12}$	$x_{2,21}$ $x_{2,22}$	$x_{2,31}$ $x_{2,32}$
$SNR_{2,1}$	$SNR_{2,2}$	$SNR_{2,3}$
$SNR_{2,3} > SNR_{2,2} > SNR_{2,1}$		
P_best_2=$x_{2,31}$,$x_{2,32}$	$P\_best_1 > P\_best_2$	G_best_1= $x_{1,21}$,$x_{1,22}$

จากตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 ที่ได้กล่าวไปแล้วเรากำหนดเวกเตอร์ขึ้นมา 3 ตัว เวกเตอร์แต่ละตัวจะประกอบด้วยจำนวนสมาชิกตามจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น ในตารางการออกแบบควอนไทเซชั่น สองระดับเวกเตอร์แต่ละตัวก็จะมีสมาชิก 2 ตัว สมาชิกทั้งสองตัวของเวกเตอร์ ที่ให้ค่า SNR ออกมาต่างกันเราจะเลือกสมาชิกของเวกเตอร์ที่ให้ *SNR* มากที่สุดมาเป็นค่า P_best

ค่า P_best ที่ได้มีสมาชิกสองตัวเราจะกำหนดให้ P_best_1 เป็น P_best ของสมาชิกตัวแรก และ P_best_2 เป็น P_best ของสมาชิกตัวที่สอง เพื่อที่จะนำไปหาสมาชิกทั้งสองตัวออกมาใหม่ตามกระบวนการของพาร์ทิเคิลสวอร์ม

สมการที่ใช้หาค่าสมาชิกใหม่ตัวที่ 1 ($x_{i,2}$) และสมาชิกใหม่ตัวที่ 2 ($x_{i,1}$) ใหม่ตามกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม คือ

$$v_{d,1} = w^* v_{(d-1),1} + c_1 r_1 *(P\_best_d - x_{(d-1),1}) + c_2 r_2 *(G\_best_d - x_{(d-1),1}) \quad (2.40)$$

$$x_{d,1} = x_{(d-1),1} + v_{d,1} \quad (2.41)$$

$$v_{d,2} = w^* v_{(d-1),2} + c_1 r_1 *(P\_best_d - x_{(d-1),2}) + c_2 r_2 *(G\_best_d - x_{(d-1),2}) \quad (2.42)$$

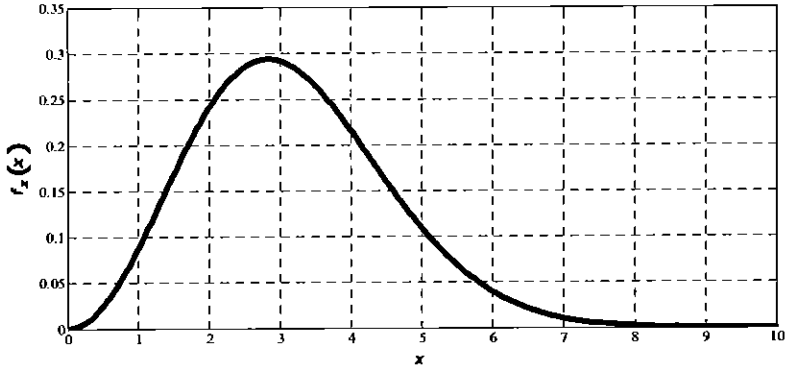
$$x_{d,2} = x_{(d-1),2} + v_{d,2} \quad (2.43)$$

เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีการของพาร์ทิเคิลสวอร์มโดยใช้ หลักการเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์มเข้ามาช่วยในการออกแบบควอนไทเซชั่นให้ได้ระดับที่เหมาะสม โดยตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการออกแบบควอนไทเซชั่นที่ 4 ระดับแสดงดังตัวอย่างข้างล่างนี้

กำหนด PDF ของสัญญาณดังสมการที่ (2.44)

$$f_X(x) = \begin{cases} 0.125\sqrt{\frac{2}{\pi}}x^2 e^{\frac{-0.25x^2}{2}} & ;x > 0 \\ 0 & ;elsewhere \end{cases} \quad (2.44)$$

วิธีทำ จาก PDF ของสัญญาณสามารถเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟของสมการที่ (2.44)

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าบริเวณ PDF ของสัญญาณที่มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงตัวเลข 1 ถึง 5 จึงต้องกำหนดเวกเตอร์ขึ้นมา 3 ตัว โดยเวกเตอร์แต่ละตัวจะมีสมาชิก 4 ตัว ทำการสุ่มค่าให้อยู่ในบริเวณ 1 ถึง 5 แสดงดังตารางที่ 2.3 ในการทำงานรอบแรก

ตารางที่ 2.3 การออกแบบควอนไทเซชั่น 4 ระดับ

รอบที่ 1		*SNR*
$X_{1,1} = x_{1,11}, x_{1,12}, x_{1,13}, x_{1,14}$	1,2,3,4	14.0435
$X_{1,2} = x_{1,21}, x_{1,22}, x_{1,23}, x_{1,24}$	1.5,2.5,3.5,4.5	15.2927
$X_{1,3} = x_{1,31}, x_{1,32}, x_{1,33}, x_{1,14}$	2,3,4,5	16.6328
P_best = 2,3,4,5 G_best = 2,3,4,5 *SNR* = 16.6328		
รอบที่ 2		
$X_{2,1} = x_{2,11}, x_{2,12}, x_{2,13}, x_{2,14}$	1.465,2.54 ,3.615,4.6 9	16.5721
$X_{2,2} = x_{2,21}, x_{2,22}, x_{2,23}, x_{2,24}$	1.77,2.845 ,3.93,4.99 5	17.0845
$X_{2,3} = x_{2,31}, x_{2,32}, x_{2,33}, x_{2,14}$	2.0775,3.1 5,4.225.5. 3	16.8203
P_best = 1.77,2.845 ,3.93,4.99 5 G_best = 1.77,2.845 ,3.93,4.99 5 SNR = 17.0845		
รอบที่ 3		
$X_{3,1} = x_{3,11}, x_{3,12}, x_{3,13}, x_{3,14}$	1.9879,3.1 92,4.2144, 5.3277	17.0993
$X_{3,2} = x_{3,21}, x_{3,22}, x_{3,23}, x_{3,24}$	2.0277,3.1 44,4.2542, 5.3674	17.0845
$X_{3,3} = x_{3,31}, x_{3,32}, x_{3,33}, x_{3,14}$	2.0675,3.1 808,4.294, 5.4073	16.8203
P_best = 1.9879,3.1 92,4.2144, 5.3277 G_best = 1.9879,3.1 92,4.2144, 5.3277 SNR = 17.0993		

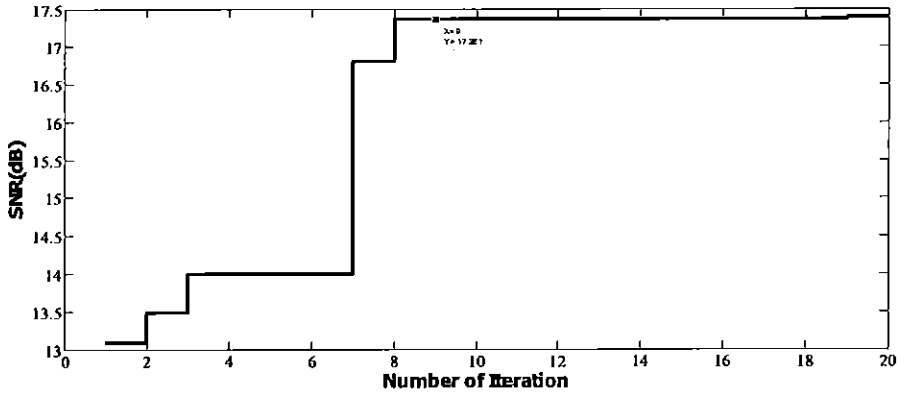
ตารางที่ 2.3 (ต่อ) การออกแบบควอนไทเซชั่น 4 ระดับ

รอบที่ 4		
$X_{4,1} = x_{4,11}, x_{4,12}, x_{4,13}, x_{4,14}$	2.3850,3.5 22,4.664,5 .8059	15.8121
$X_{4,2} = x_{4,21}, x_{4,22}, x_{4,23}, x_{4,24}$	2.2084,3.3 474,4.4893 ,5.6313	16.5352
$X_{4,3} = x_{4,31}, x_{4,32}, x_{4,33}, x_{4,14}$	2.0337,3.1 728,4.3147 ,5.4566	17.0637
P_best = 2.0337,3.1 728,4.3147 ,5.4566 G_best = 1.9879,3.1 92,4.2144, 5.3277 SNR = 17.0993		
รอบที่ 5		
$X_{5,1} = x_{5,11}, x_{5,12}, x_{5,13}, x_{5,14}$	2.5281,3.6 735,4.8258 ,5.9781	15.1082
$X_{5,2} = x_{5,21}, x_{5,22}, x_{5,23}, x_{5,24}$	2.2608,3.4 062,4.5585 ,5.7107	16.3411
$X_{5,3} = x_{5,31}, x_{5,32}, x_{5,33}, x_{5,14}$	1.9434,3.1 389,4.2911 ,5.4434	17.1696
P_best = 1.9434,3.1 389,4.2911 ,5.4434 G_best = 1.9434,3.1 389,4.2911 ,5.4434 SNR = 17.1696		
รอบที่ 6		*SNR*
$X_{6,1} = x_{6,11}, x_{6,12}, x_{6,13}, x_{6,14}$	2.43,3.5786,4.7386,5.8987	15.9436
$X_{6,2} = x_{6,21}, x_{6,22}, x_{6,23}, x_{6,24}$	2.1974,3.346,4.506,5.666	16.5874
$X_{6,3} = x_{6,31}, x_{6,32}, x_{6,33}, x_{6,14}$	1.9648,3.1134,4.2734,5.4334	17.2387
P_best = 1.9648,3.1134,4.2734,5.4334 G_best = 1.9648,3.1134,4.2734,5.4334 *SNR* = 17.2387		
รอบที่ 7		
$X_{7,1} = x_{7,11}, x_{7,12}, x_{7,13}, x_{7,14}$	2.1835,3.3 321,4.4961 ,5.6601	16.402
$X_{7,2} = x_{7,21}, x_{7,22}, x_{7,23}, x_{7,24}$	2.0676,3.2 163,4.3802 ,5.5442	17.0055
$X_{7,3} = x_{7,31}, x_{7,32}, x_{7,33}, x_{7,14}$	1.9518,3.1 004,4.2644 ,5.4254	17.2685
P_best = 1.9518,3.1 004,4.2644 ,5.4254 G_best = 1.9518,3.1 004,4.2644 ,5.4254 SNR = 17.2685		

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) การออกแบบควอนไทเซชั่น 4 ระดับ

รอบที่ 8		
$X_{8,1} = x_{8,11}, x_{8,12}, x_{8,13}, x_{8,14}$	1.9198,3.0 661,4.2302 ,5.3944	17.3210
$X_{8,2} = x_{8,21}, x_{8,22}, x_{8,23}, x_{8,24}$	1.9367,3.0 83,4.2471, 5.4113	17.2941
$X_{8,3} = x_{8,31}, x_{8,32}, x_{8,33}, x_{8,14}$	1.935,3.09 99,4.264,5 .4282	17.2648
P_best = 1.9198,3.0 661,4.2302 ,5.3944 G_best = 1.9198,3.0 661,4.2302 ,5.3944 SNR = 17.3210		
รอบที่ 10		
$X_{10,1} = x_{10,11}, x_{10,12}, x_{10,13}, x_{10,14}$	1.7412,2.8 841,4.0455 ,5.2068	17.4454
$X_{10,2} = x_{10,21}, x_{10,22}, x_{10,23}, x_{10,24}$	1.8511,2.9 939,4.153, 5.3167	17.3975
$X_{10,3} = x_{10,31}, x_{10,32}, x_{10,33}, x_{10,14}$	1.961,3.10 38,4.2652, 5.4266	17.2459
P_best = 1.7412,2.8 841,4.0455 ,5.2068 G_best = 1.7412,2.8 841,4.0455 ,5.2068 SNR = 17.4454		
รอบที่ 20		
$X_{20,1} = x_{20,11}, x_{20,12}, x_{20,13}, x_{20,14}$	1.8435,2.9 831,4.3187 ,5.2068	17.3899
$X_{20,2} = x_{20,21}, x_{20,22}, x_{20,23}, x_{20,24}$	1.875,3.01 49,4.1704, 5.3259	17.3600
$X_{20,3} = x_{20,31}, x_{20,32}, x_{20,33}, x_{20,14}$	1.9070,3.0 467,4.2022 ,5.3577	17.3215
P_best = 1.8435,2.9 831,4.3187 ,5.2068 G_best = 1.7412,2.8 841,4.0455 ,5.2068 SNR = 17.4454		

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าค่า *SNR* ที่ได้ในแต่ละรอบมาเปรียบเทียบกัน โดยเก็บเฉพาะค่า *SNR* ที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับรอบที่ผ่านมา ถ้าในรอบปัจจุบันค่า *SNR* ต่ำกว่ารอบที่ผ่านมาก็จะเก็บค่า *SNR* เป็นของรอบที่แล้ว นำมาวาดเป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ค่า *SNR* ที่ได้ทั้ง 20 รอบ

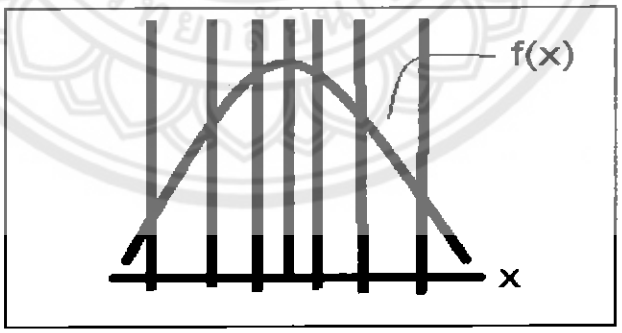
จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าค่า *SNR* เพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆจนมาถึงในรอบการทำงานที่ 4 ถึง 6 จะคงที่ และจากนั้นจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนได้ค่า *SNR* ที่ดีที่สุดอยู่ในรอบการทำงานที่ 10 จาก 20 รอบการทำงาน

จะเห็นว่า จากตารางที่ 3 และรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม สามารถพิสูจน์ให้เห็นแล้วว่ากระบวนการนี้ทำให้ได้ *SNR* ที่ดีขึ้นและได้ระดับของควอนไทเซชั่นที่เหมาะสมจากการทำงานเพียง 10 รอบของกระบวนการ พาร์ทิเคิลสวอร์ม

2.7 Lloyd Max Quantization

ในบทนี้จะทำการศึกษากระบวนการ Lloyd-Max Quantization เพราะต้องการให้ค่า *SNR* ที่ได้จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม นำมาเปรียบเทียบกับค่า *SNR* ที่ได้จาก กระบวนการของ Lloyd-Max Quantization ว่ากระบวนการไหนสามารถให้ค่า *SNR* ออกมาได้เหมาะสมที่สุด

ในกระบวนการควอนไทเซชั่น ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่าง PDF ของสัญญาณและจำนวนระดับการควอนไทเซชั่น เพื่อที่จะลดกำลังของสัญญาณรบกวน (P_{noise}) หรือ Mean Square Error (MSE) ให้มีค่าน้อยที่สุด ควรวางระดับการควอนไทเซชั่น เป็นช่วงห่างกันเป็นช่วงกว้างที่ PDF ของสัญญาณมีการกระจายน้อยหรือบริเวณ $f_X(x)$ มีค่าสูงๆ และวางระดับควอนไทเซชั่นเป็นช่วงห่างกันเป็นช่วงกว้างของ PDF ของสัญญาณจะมีการกระจายน้อย หรือบริเวณ $f_X(x)$ มีค่าต่ำๆ ดังรูปที่ 2.10

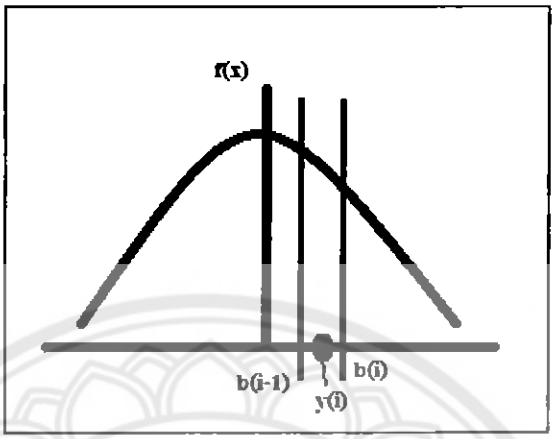


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการวางระดับของ Lloyd Max [4]

เมื่อทราบ PDF ของสัญญาณแล้ว สามารถหาค่า MSE ได้จากสมการ

$$MSE = \int (x-\tilde{x})^2 f_X(x)dx = \sum_{k=1}^{M} \int_{b_{k-1}}^{b_k} (x-y_k)^2 f_X(x)dx \qquad (2.45)$$

สังเกตได้ว่าค่า MSE คือการหา P_{noise} นั่นเอง ให้ b_i และ y_i เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ได้ค่า MSE ที่ต่ำที่สุด โดย y_i คือค่ากลางระหว่างช่วง $[b_{i-1}, b_i]$ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงตำแหน่ง y_i [4]

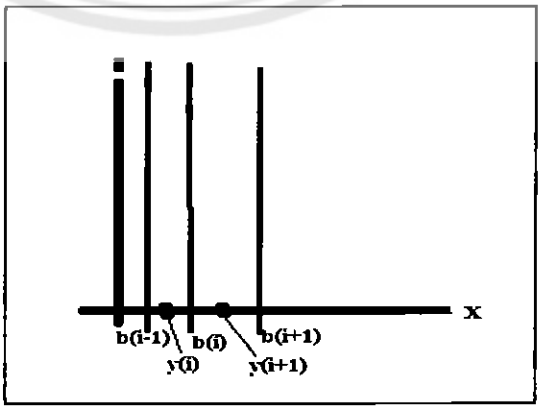
สามารถหา y_i ได้จาก

$$y_i = \frac{\int_{b_{i-1}}^{b_i} x f_X(x)dx}{\int_{b_{i-1}}^{b_i} f_X(x)dx} \tag{2.46}$$

และหา b_i ได้จาก

$$b_i = \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \tag{2.47}$$

b_i คือค่ากึ่งกลางระหว่าง y_i และ y_{i+1} แสดงดังรูปที่ 2.12

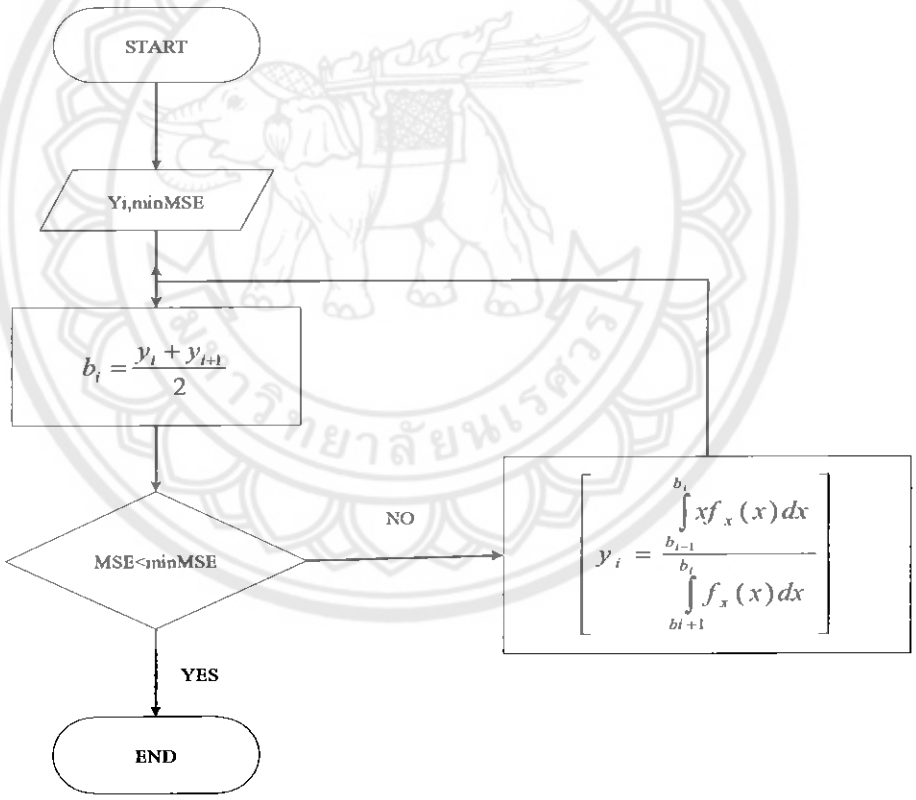


รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่ง b_i [4]

ต่อไปนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการหาค่า MSE ที่น้อยที่สุดตามหลักการของ Lloyd Max

1. กำหนดระดับของการควอนไทเซชั่น (Quantization levels, y_i)
2. หาค่า b_i จากสมการที่ (2.47)
3. คำนวณหาค่า MSE หรือ P_{noise}
4. กำหนดค่า MSE ที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้
5. ทำการหาค่า y_i จากสมการที่ (2.46) แล้วกลับไปหาค่า b_i ได้ใหม่ในขั้นตอนที่ 2

จากขั้นตอนการหาค่า MSE ข้างต้นสามารถเขียนสรุปเป็นแผนภาพการทำงานของกระบวนการ Lloyd Max ได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนภาพการทำงานของกระบวนการ Lloyd-Max [4]

ในบทที่ 2 นี้ได้ทำการศึกษาพื้นฐานของการทำควอนไทเซชั่น และศึกษาเกี่ยวกับการทำกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม และ เวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์มจากนั้นนำการบวนการทั้งสองนี้มา

ประยุกต์ใช้ออกแบบ ระดับของกระบวนการควอนไทเซชั่น และได้ทำการศึกษากระบวนการของ Lloyd-Max เพื่อจะนำค่า SNR ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการมาเปรียบเทียบกัน [4]

ในบทต่อไปจะแสดงวิธีการดำเนินงาน และการออกแบบโปรแกรม เพื่อนำกระบวนการพาร์ทิเดิลสวอร์ม มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรม

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานและการออกแบบโปรแกรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน และการออกแบบโปรแกรม เพื่อนำกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบควอนไทเซชั่น อีกทั้งยังอธิบายวิธีการเขียนโปรแกรมและการใส่ข้อมูลในโปรแกรม

3.1 วิธีการดำเนินงาน

ในวิธีการดำเนินการจะทำตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวในบทที่ 1 คือ

1) ศึกษากระบวนการการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม และนำไปประยุกต์เพื่อหาผลเฉลยเพื่อให้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แสดงเนื้อไปแล้วในบทที่ 2
2) ศึกษากระบวนการออกแบบควอนไทเซชั่นได้ แสดงเนื้อไปแล้วในบทที่ 2
3) ออกแบบควอนไทเซชั่นด้วย กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม แสดงเนื้อไปแล้วในบทที่ 2
4) สร้างโปรแกรมออกแบบควอนไทเซชั่นด้วย กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม
5) หาตัวแปร (r_1c_1, r_2c_2, w) ที่เหมาะสมโดยวิธีความน่าจะเป็น จากนั้นจะแสดงกราฟเปรียบเทียบเพื่อใช้เลือกค่าของ r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุด และสรุปผล จะแสดงเนื้อหาในบทที่ 4
6) นำ r_1c_1, r_2c_2, w ที่ได้จากการ ขั้นตอนที่ 3.1.5 มาใส่ในโปรแกรมแล้วคำนวณหาค่า SNR อีกครั้ง
7) เปรียบเทียบค่า SNR ที่ได้จาก 3.1.5 โดยจะใช้สัญญาณ PDF เป็นแบบ Exponential Gaussian และ Erlang เปรียบกับค่า SNR ที่ได้จาก Lloyd Max โดยจะอ้างอิงค่าจากการศึกษาการควอนไทเซชั่นอย่างเหมาะสมที่สุดโดยหลักการ Lloyd Max ของนางสาว พนัยย์ สุวรรณพัฒน์ จะแสดงในบทที่ 4

3.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมออกแบบควอนไทเซชั่นด้วย กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

การเขียนโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 เขียนโปรแกรมการทำงานของควอนไทเซชั่น

ส่วนที่ 2 ส่วนนี้จะรับค่า SNR มาจากส่วนที่ 1 โดยจะได้จำนวนค่า SNR เท่ากับจำนวนเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม ที่กำหนดจากนั้นโปรแกรมจะเลือกค่า SNR ที่สูงที่สุดออกมาแล้วแสดงค่า SNR ตัวนั้นออกมาพร้อมกับค่าของพาร์ทิเคิล แต่ละตัวเรียงจากน้อยไปหามาก มีจำนวนเท่ากับจำนวนระดับของ ควอนไทเซชั่น

ส่วนที่ 3 เขียนโปรแกรมการทำงานของพาร์ทิเคิลสวอร์ม โดยจะรับค่าพาร์ทิเคิลมาจากโปรแกรมในส่วนที่ 2 แล้วทำการหาค่าพาร์ทิเคิล ใหม่เพื่อนำกลับไปคำนวณหา SNR ใหม่ในโปรแกรมส่วนที่ 1 โปรแกรมจะทำทั้งหมดตามจำนวนรอบที่เรากำหนดแล้วแสดงค่า SNR ที่ได้สูงที่สุดออกมาพร้อมกับค่าพาร์ทิเคิลสวอร์ม ที่ทำให้ได้ SNR สูงที่สุดส่วนต่อไปจะแสดงการกำหนดค่าในโปรแกรม

3.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าต่างๆในโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมออกแบบควอนไทเซชั่น จะใช้โปรแกรม Matlab ในการออกแบบ

1) กำหนดจำนวนของเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม (Vector Particle Swarm) ที่จะใช้คำนวณ การกำหนดจำนวนของเวกเตอร์พาร์ทิเคิลสวอร์ม คือ การกำหนดชุดข้อมูลของตัวพาร์ทิเคิลตามเนื้อหาที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2
2) กำหนดจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น ในขั้นตอนนี้จะเป็นการแบ่งช่วงแต่ละช่วงในกราฟ PDF ที่เราใช้ โดยการสร้างระดับต้องมีค่าเท่ากับ 2^n และ n คือตัวเลขจำนวนเต็มบวก ตัวอย่างเช่น ต้องการทั้งหมด 8 ระดับจะได้ $2^3 = 8$ ก็จะสามารถกำหนดระดับควอนไทเซชั่นได้ทั้งหมด 8 ค่าโดยจะต้องเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ตามเนื้อหาในส่วนของบทที่ 2
3) สร้างสัญญาณ ในขั้นแรกต้องทำการสร้างสัญญาณขึ้นมาในที่นี้จะใช้สัญญาณ PDF โดยเมื่อทำการอินทิเกรทโดยใช้ขอบเขตเป็นช่วงของสัญญาณนั้นแล้ว ต้องมีค่าเท่ากับ 1 สัญญาณ PDF นั้นจึงจะสามารถใช้ได้
4) กำหนดจำนวนตัวพาร์ทิเคิล ให้มีจำนวนเท่ากับระดับของควอนไทเซชั่น และมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

5) กำหนดรอบที่จะใช้ในการคำนวณ

เมื่อกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณ SNR ออกมาตามจำนวนของ Vector PSO แล้วเปรียบเทียบค่าแสดงค่าที่ SNR สูงที่สุดในกลุ่มออกมาพร้อมกับชุดข้อมูลของตัว Particle ที่ทำให้ได้ SNR สูงที่สุดออกมา และโปรแกรมจะแสดงกราฟค่า SNR ที่เพิ่มขึ้นของแต่ละรอบออกมาจนครบจำนวนรอบที่กำหนดให้โปรแกรมทำงาน

3.4 โปรแกรมแสดงการออกแบบควอนไทเซชั่น

3.4.1 ขั้นตอนการรันโปรแกรม

โปรแกรมจะถาม 4 คำถามคือ

```
>>
enter the Quantization level or number Particle =4
pdf='1/8'
Enter require the range of Quantization [r_min r_max]=[-4 4]
Enter require range of Particle =[-3 3]
Enter require number of cycles =
```

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการรันโปรแกรม

คำถามที่ 1 ที่โปรแกรมจะถาม คือจำนวนระดับควอนไทเซชั่นที่ต้องการออกแบบ รูปที่ 3.1 สมมุติให้จำนวณระดับ ควอนไทเซชั่นเป็น 4 ระดับ จากนั้นโปรแกรมจะถามสัญญาณหรือสมการ PDF ที่ต้องการออกแบบ และโปรแกรมจะช่วงสัญญาณ PDF นี้ด้วย เพื่อนำไปตรวจสอบว่าสัญญาณหรือสมการ PDF นี้ถูกต้อง จากตัวอย่างในรูปที่ 3.1 PDF มีค่าเท่ากับ 1/8 และมีช่วงของสัญญาณเท่ากับ 4 ถึง 4 คำถามที่ 3 ที่โปรแกรมจะถามคือ ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าแต่ละตัวพาร์ทิเคิล จากนั้นโปรแกรมจะถามคำถามสุดท้าย คือจำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน

ในบทที่ 3 ได้กล่าวเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานของโครงงาน ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวในบทที่ 1 แสดงวิธีการออกแบบโปรแกรม การกำหนดค่าในโปรแกรม

ในบทต่อไปจะเป็นการแสดงผลของการดำเนินงานโครงงาน เมื่อค้นหาและแทนค่า r_1c_1, r_2c_2, w ในสัญญาณ PDF ตัวอย่างทั้ง 4 สัญญาณ แล้วนำผลของ SNR ที่ได้มาแสดงเป็นกราฟ และจะแสดงการเปรียบเทียบค่า SNR ที่ได้จากการแทน r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมลงไป โดยจะใช้สัญญาณ PDF เป็นแบบ Exponential, Gaussian และ Erlang เปรียบกับค่า SNR ที่ได้จาก Lloyd Max โดยจะอ้างอิงค่าจาก การศึกษาการควอนไทเซชั่นอย่างเหมาะสมที่สุดโดยหลักการ Lloyd Max ของนางสาว พนัยย์ สุวรรณพัฒน์

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะแสดงผลการหาตัวแปรที่เหมาะสมคือค่าของ r_1c_1, r_2c_2, w แล้ววิเคราะห์ และจะแสดงผลการทดลองเมื่อใส่ข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมแล้วโปรแกรมจะแสดงรูปภาพ SNR ที่เพิ่มขึ้นออกมาจนครบจำนวนรอบที่กำหนด พร้อมกับแสดงค่าของตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวที่ทำให้ได้ค่า SNR สูงที่สุด เรียงลำดับจากน้อยไปมากมีจำนวนเท่ากับ จำนวนระดับของควอนไทเซชั่น และแสดงการออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม เปรียบเทียบกับกระบวนการ Lloyd Max

4.1 ค้นหา c_1r_1, c_2r_2, w ในกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มให้ได้ตัวที่เหมาะสมที่สุด และวิเคราะห์ผล

จะแสดงขั้นตอนการหา r_1c_1, r_2c_2, w ดังนี้

1) กำหนดสัญญาณอินพุทขึ้นมา และจำนวนระดับควอนไทเซชั่นสมมุติขึ้นมาให้เป็น 4 ระดับ
2) สมมุติค่าเริ่มต้นให้แต่ละระดับควอนไทเซชั่นมา 4 ค่าตามจำนวนระดับหรือค่าของพาร์ทิเคิลและค่าความเร็ว (v) ให้มีจำนวนเท่ากับจำนวนของตัวพาร์ทิเคิล
3) กำหนดรอบที่จะคำนวณ
4) กำหนดค่า r_1c_1, r_2c_2, w โดยวิธีการสุ่มค่าขึ้นมาโดยจะสมมุติให้ค่ามีสามช่วงคือ ช่วงที่ r_1c_1, r_2c_2, w มีค่า สูงสุด กลาง และต่ำสุด สลับค่ากันสามตัวทุกตัวมีค่าเท่ากันและบางครั้ง 2 ตัวมีค่าเท่ากันแสดงดังตารางที่ 4.1

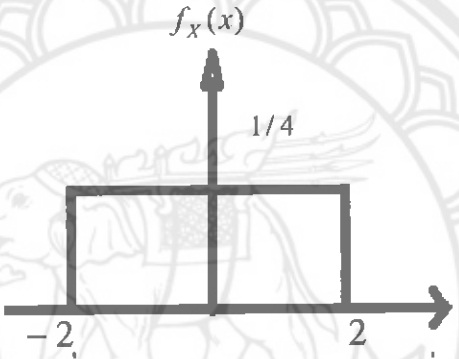
ตารางที่ 4.1 แสดงการสุ่มค่า r_1c_1, r_2c_2, w

รอบ	w	c_1r_1	c_2r_2
1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.5
3	0.1	0.1	0.9
4	0.1	0.5	0.1
5	0.1	0.5	0.5
6	0.1	0.5	0.9
7	0.1	0.9	0.1
8	0.1	0.9	0.5
9	0.1	0.9	0.9
10	0.5	0.1	0.1
11	0.5	0.1	0.5
12	0.5	0.1	0.9
13	0.5	0.5	0.1
14	0.5	0.5	0.5
15	0.5	0.5	0.9
16	0.5	0.9	0.1
17	0.5	0.9	0.5
18	0.5	0.9	0.9
19	0.9	0.1	0.1
20	0.9	0.1	0.5
21	0.9	0.1	0.9
22	0.9	0.5	0.1
23	0.9	0.5	0.5
24	0.9	0.5	0.9
25	0.9	0.9	0.1
26	0.9	0.9	0.5
27	0.9	0.9	0.9

จากตารางจะทำการแทนค่าทั้งหมด 27 รอบจากนั้นนำค่าที่ได้ของแต่ละรอบมาวาดเป็นกราฟค่าของ r_1c_1, r_2c_2, w ในรอบที่เท่าไรที่ทำให้มีค่าให้ SNR มากที่สุดจะนำมาพิจารณาทั้งหมด 3 ค่าและการเลือกพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีตัวอย่างสมการ PDF 4 แบบที่จะนำมาหาค่า r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละสมการ และจะอธิบายทั้งหมดที่ได้กล่าวดังนี้

4.1.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{4} & ;-2 \le x \le 2 \\ 0 & ;otherwise \end{cases} \tag{4.1}$$

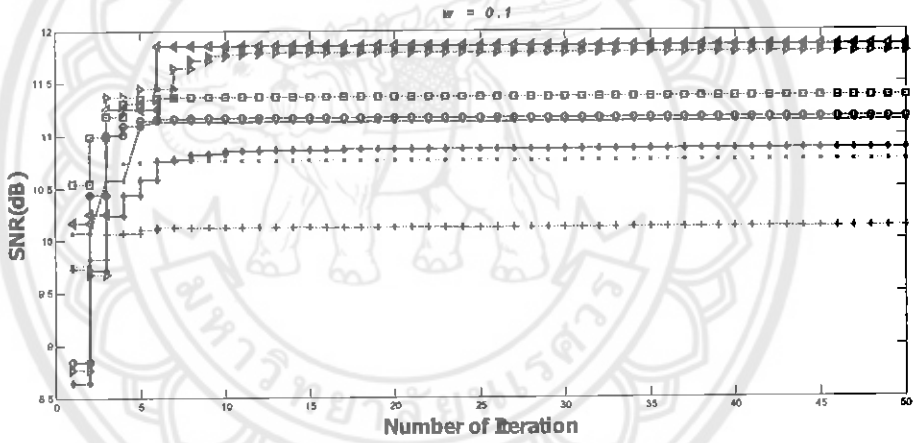


รูปที่ 4.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1

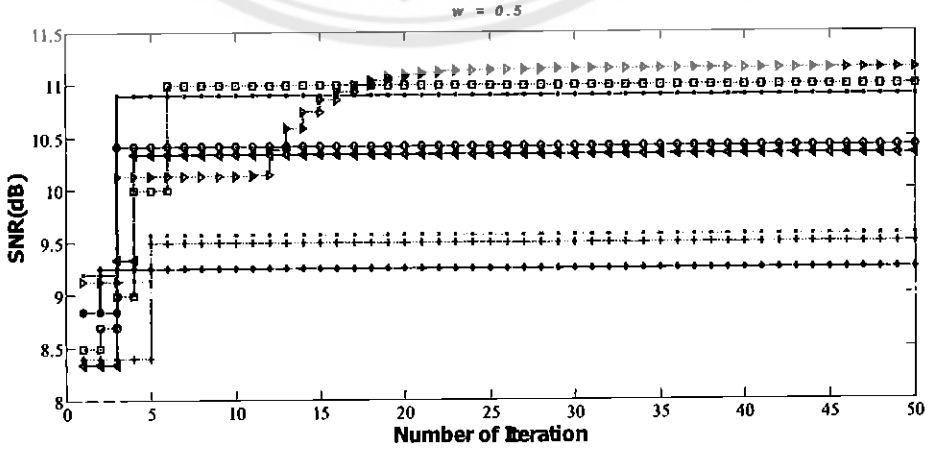
ต่อไปจะแสดงการหาค่าตัวแปร r_1c_1, r_2c_2, w ตามตารางที่ 4.1 จะแสดงเป็นสามรูป โดยที่ **รูปที่** 4.2 มีค่า $w = 0.1$ c_1r_1 และค่า c_2r_2 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 **รูปที่** 4.3 มีค่า $w = 0.5$ c_1r_1 และค่า c_2r_2 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.4 ค่า $w = 0.9$ c_1r_1 และค่า c_2r_3 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 ที่กล่าวทั้งหมดจะแสดงดังนี้ ต่อไปจะแสดงตารางที่ 4.2 เป็นตารางแสดงค่า c_1r_1 และค่าของ c_2r_2 เมื่อค่าของ w มีค่าคงที่ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงสัญลักษณ์ของค่า c_1r_1 และค่า c_2r_2

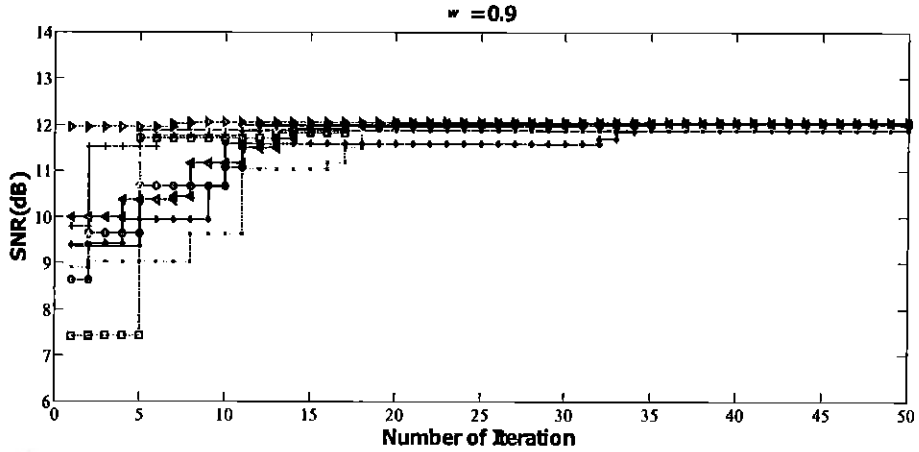
สัญลักษณ์	c_1r_1	c_2r_2
- - * - -	0.1	0.1
- - + - -	0.1	0.5
- - O - -	0.1	0.9
- - × - -	0.5	0.1
- - - □ - - -	0.5	0.5
- - ◊ - -	0.5	0.9
- - ● - -	0.9	0.1
- - ◁ - -	0.9	0.5
- - ▷ - -	0.9	0.9



รูปที่ 4.2 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 10 -18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1

ต่อไปจะแสดงการวิเคราะห์ผลการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุดของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 โดยจะแสดงออกมาเป็นค่า SNR จะเลือกค่า SNR ที่สูงที่สุดออกมา 3 ค่ามาวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3

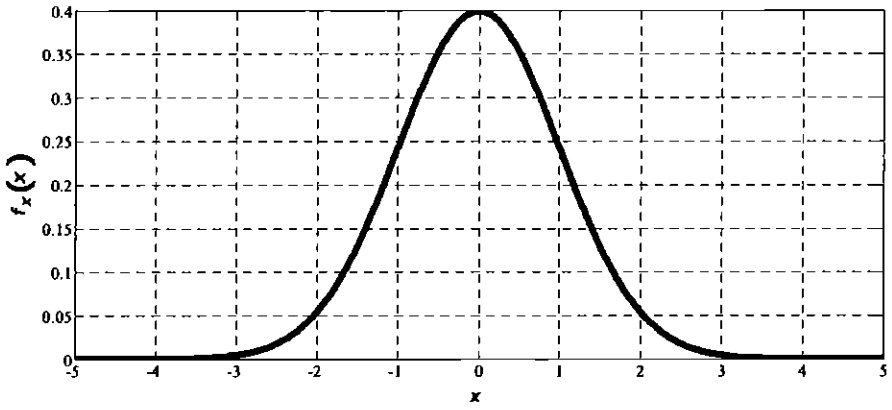
ตารางที่ 4.3 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1

	$w = 0.1$	$w = 0.5$	$w = 0.9$
SNR สูงสุด	11.8557	11.1472	12.04
รอบที่ได้ SNR สูงสุด	6	20	10
c_1r_1 ที่ทำให้ได้ SNRสูงสุด	0.5	0.5	0.9
c_2r_2 ที่ทำให้ได้ SNRสูงสุด	0.9	0.9	0.9

เลือก $w = 0.9$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$ เพราะจากตารางที่ 4.2 ได้ค่า SNR สูงที่สุด และรอบในการคำนวณของโปรแกรมที่ทำให้ได้ค่า SNR = 12.04 dB อยู่ในรอบที่ 10 เป็นรอบที่ไวที่สุดในตารางที่ 4.3 สำหรับวิ่งไปหาค่าที่เหมาะสม สำหรับ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1

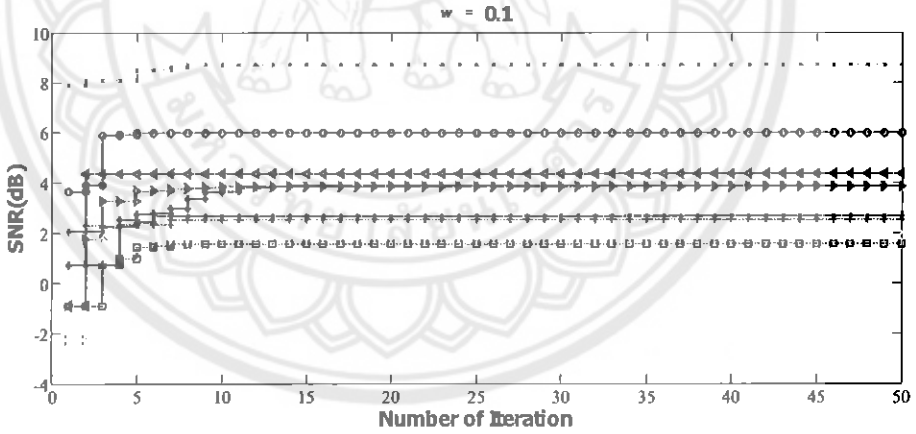
4.1.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2

$$f_X(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}\exp(-x^2/2)} & ;-\infty \le x \le \infty \\ 0 & ;otherwise \end{cases} \qquad (4.2)$$

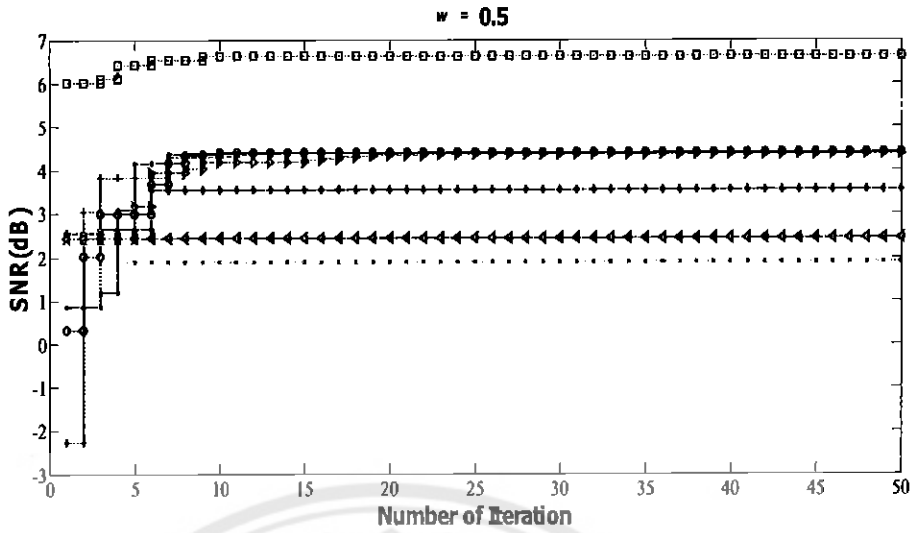


รูปที่ 4.5 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2

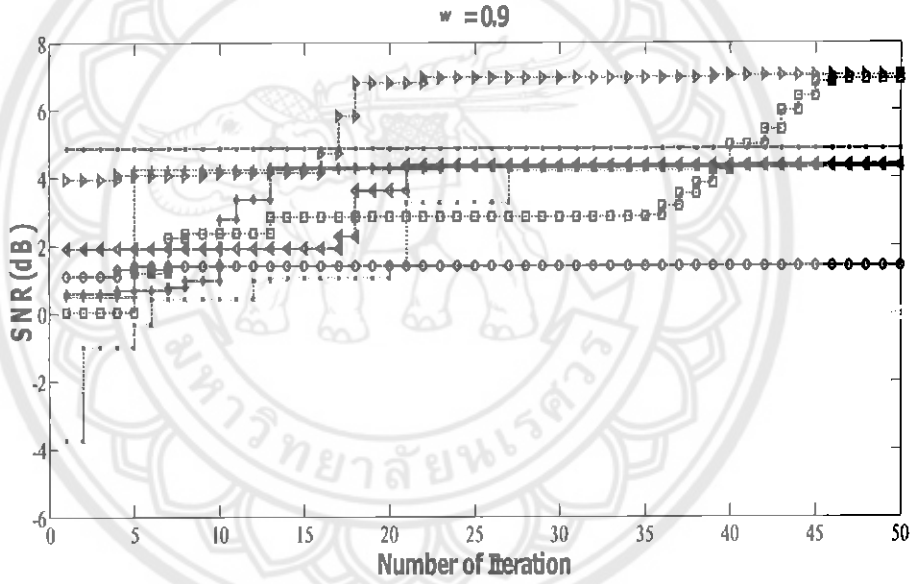
ต่อไปจะแสดงการหาค่าตัวแปร r_1c_1, r_2c_2, w ตามตารางที่ 4.1 จะแสดงเป็นสามรูป โดยได้รูปที่ 4.6 มีค่า $w = 0.1$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนมีค่าเป็น 0.9 ตามตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.7 มีค่า $w = 0.5$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนมีค่าเป็น 0.9 ตามตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8 ค่า $w = 0.9$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 แสดงดังรูปที่ 4.8 ที่กล่าวทั้งหมดจะแสดงดังนี้



รูปที่ 4.6 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.7 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 10 -18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.8 แสด SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 รอบที่ 19- 27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1

ต่อไปจะแสดงการวิเคราะห์ผลการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุดของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 โดยจะแสดงออกมาเป็นค่า SNR จะเลือกค่า SNR ที่สูงที่สุดออกมา 3 ค่ามาวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

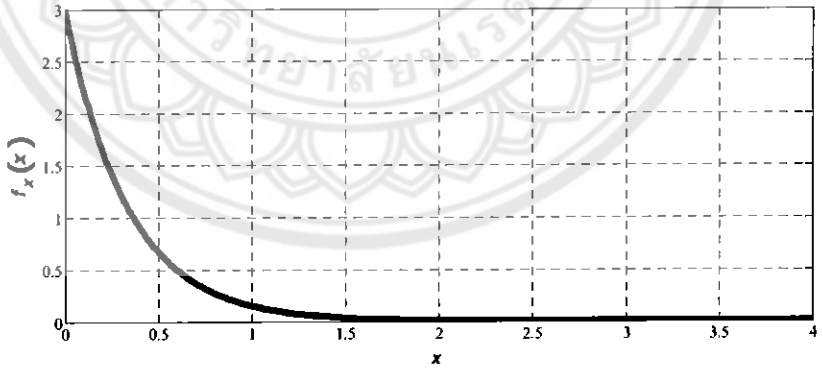
ตารางที่ 4.4 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2

	$w = 0.1$	$w = 0.5$	$w = 0.9$
SNR สูงสุด	8.6811	6.6142	7.0506
รอบที่ได้ SNR สูงสุด	10	10	50
c_1r_1 ที่ทำให้ได้ SNRสูงสุด	0.5	0.5	0.5
c_2r_2 ที่ทำให้ได้ SNR สูงสุด	0.1	0.5	0.5

เลือก $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.5$ และ $c_2r_2 = 0.1$ เพราะจากตารางที่ 4.3 ได้ค่า SNR สูงที่สุด และรอบในการคำนวณของโปรแกรมที่ทำให้ได้ค่า SNR = 8.6811 dB อยู่ในรอบที่ 10 เป็นรอบที่ไวที่สุดในตารางที่ 4.4 สำหรับวิ่งไปหาค่าที่เหมาะสมสำหรับ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2

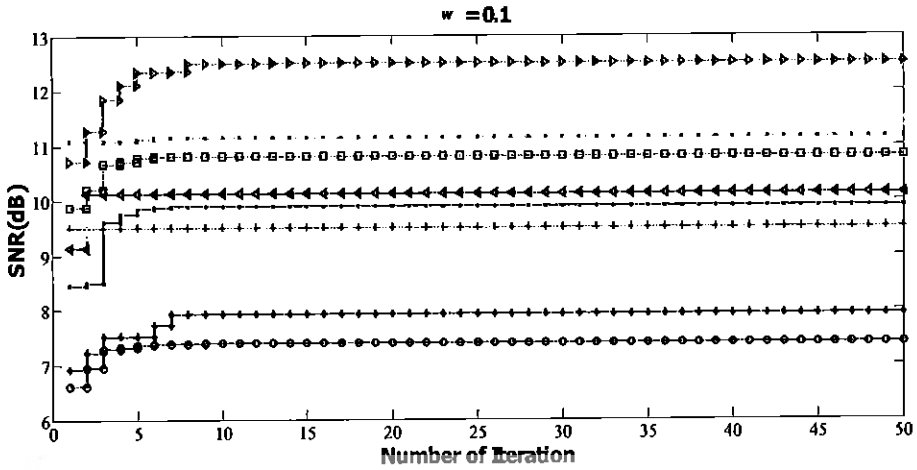
4.1.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}} & ;0 \le x \\ 0 & ;otherwise \end{cases} \tag{4.3}$$

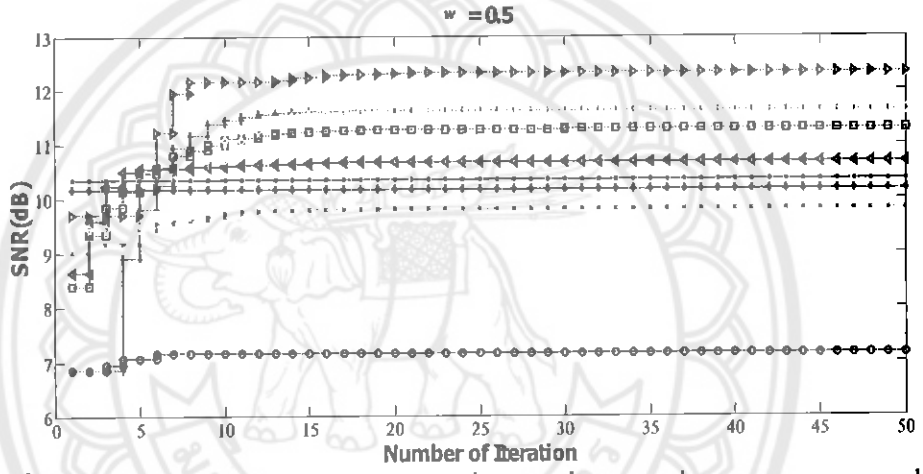


รูปที่ 4.9 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3

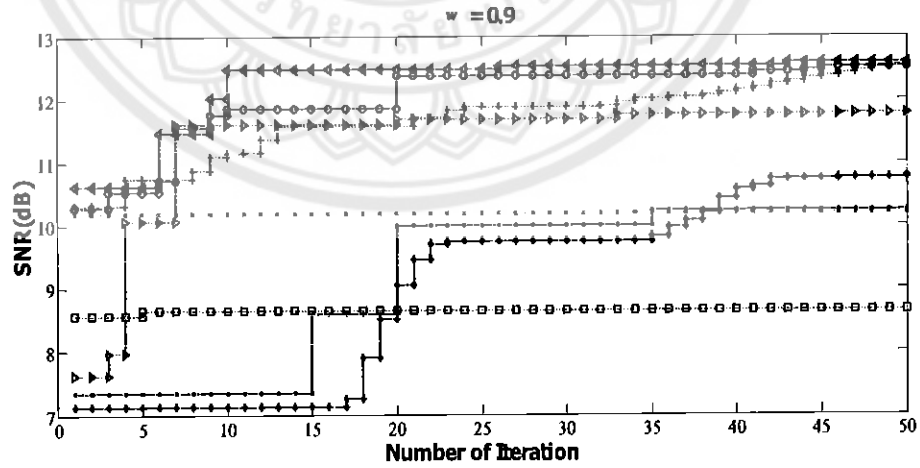
ต่อไปจะแสดงการหาค่าตัวแปร r_1c_1, r_2c_2, w ตามตารางที่ 4.1 จะแสดงเป็นสามรูป โดยได้รูปที่ 4.10 มีค่า $w = 0.1$ c_1r_1 และ ค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ค่า 0.1 จนถึง 0.9 ตาม ตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.11 มีค่า $w = 0.5$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.12 มีค่า $w = 0.9$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ค่า 0.1 จนถึงค่า 0.9 ตามตารางที่ 4.1 ที่กล่าวทั้งหมดจะแสดงดังนี้



รูปที่ 4.10 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตามตา**รางที่ 4.1**



รูปที่ 4.11 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 10 -18 เมื่อแทนค่าตาม**ตารางที่ 4.1**



รูปที่ 4.12 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 รอบที่ 19 -27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1

ต่อไปจะแสดงการวิเคราะห์ผลการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุดของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 โดยจะแสดงออกมาเป็นค่า SNR จะเลือกค่า SNR ที่สูงที่สุดออกมา 3 ค่ามาวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5

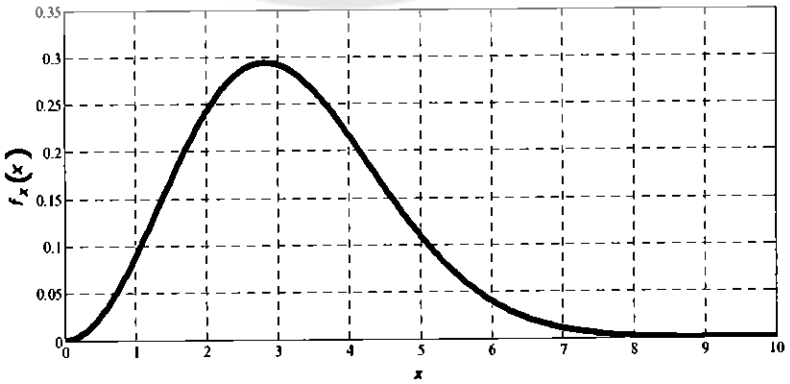
ตารางที่ 4.5 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3

	$w = 0.1$	$w = 0.5$	$w = 0.9$
SNR สูงสุด	12.4921	12.314	12.5701
รอบที่ได้ SNR สูงสุด	10	16	43
c_1r_1 ที่ทำให้ได้ SNR สูงสุด	0.9	0.9	0.9
c_2r_2 ที่ทำให้ได้ SNR สูงสุด	0.9	0.9	0.5

เลือก $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$ จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่า SNR สูงที่สุดไม่ได้เกิดจาก $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$ แต่ค่า SNR ทั้งสามตัวมีค่าใกล้เคียงกันมาก ห่างกันประมาณ 0.1 ดังนั้นจึงจะมาเลือก พิจารณาจากรอบที่ทำให้ได้ค่า SNR สูงสุด ดังนั้นจึงเลือก $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$ เพราะรอบที่ทำให้ได้ค่า SNR สูงสุดอยู่ที่ 10 รอบ เป็นรอบที่ไวที่สุด

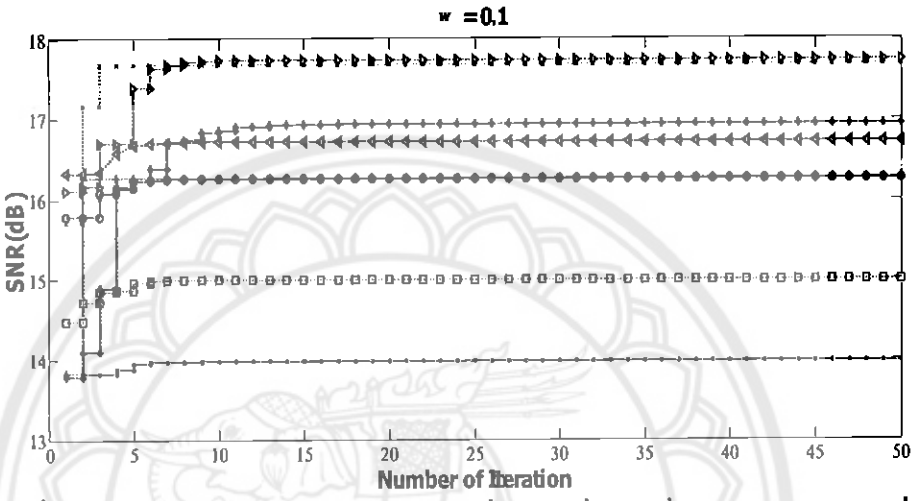
4.1.4 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4

$$f_X(x) = \begin{cases} 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2) & ;0 \le x \\ 0 & ;otherwise \end{cases} \tag{4.4}$$

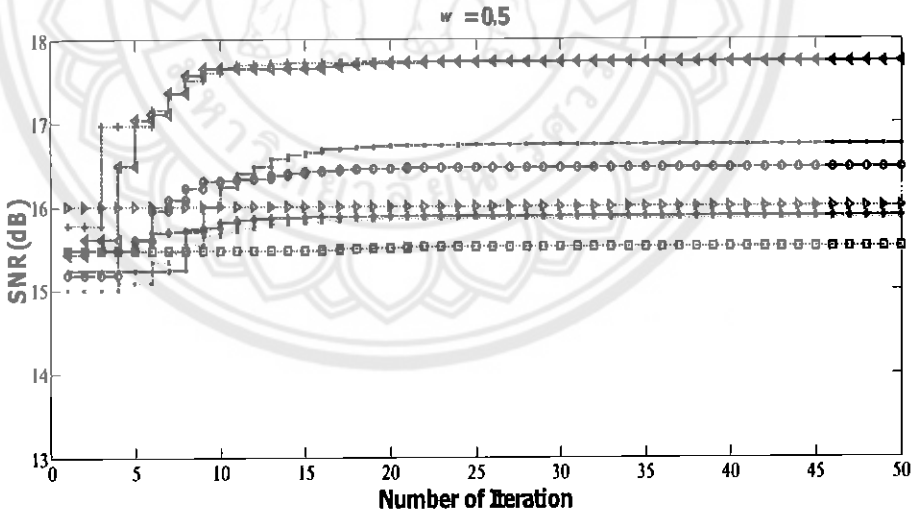


รูปที่ 4.13 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4

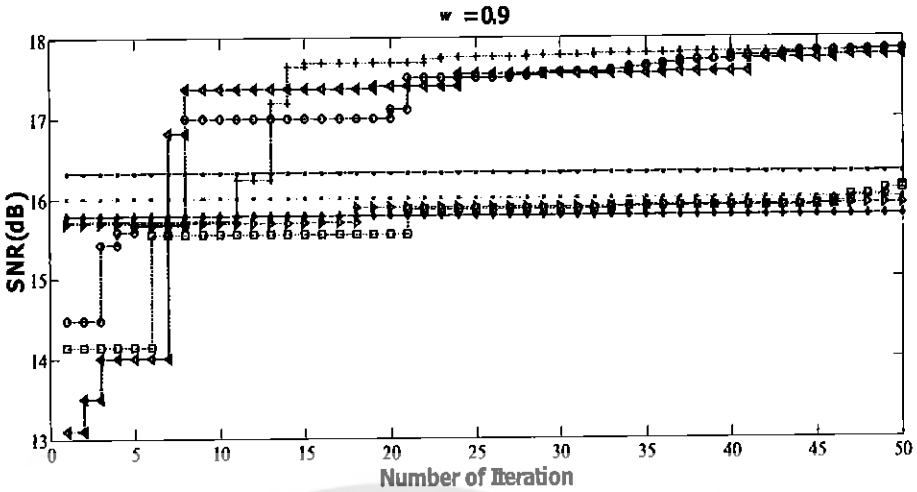
ต่อไปจะแสดงการหาค่าตัวแปร r_1c_1, r_2c_2, w ตามตารางที่ 4.1 จะแสดงเป็น 3 รูป โดยได้รูปที่ 4.14 มีค่า $w = 0.1$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 รูปที่ 4.15 มีค่า $w = 0.5$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนมีค่าเป็น 0.9 ได้ตามตารางที่ 4.1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 มีค่า $w = 0.9$ c_1r_1 และค่า c_1r_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 จนถึง 0.9 ตามตารางที่ 4.1 แสดงดังรูปที่ 4.16 ที่กล่าวทั้งหมดจะแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.14 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 1- 9 เมื่อแทนค่าตาม**ตารางที่ 4.1**



รูปที่ 4.15 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 10 -18 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.16 แสดง SNR ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 รอบที่ 19 -27 เมื่อแทนค่าตามตารางที่ 4.1

ต่อไปจะแสดงการวิเคราะห์ผลการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ที่เหมาะสมที่สุดของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4 โดยจะแสดงออกมาเป็นค่า SNR จะเลือกค่า SNR ที่สูงที่สุดออกมา 3 ค่ามาวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเลือกค่า r_1c_1, r_2c_2, w ของ PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 4

	$w = 0.1$	$w = 0.5$	$w = 0.9$
SNR สูงสุด	17.7314	17.7332	17.8440
รอบที่ได้ SNR สูงสุด	15	15	50
c_1r_1 ที่ทำให้ได้ SNR สูงสุด	0.9	0.1	0.1
c_2r_2 ที่ทำให้ได้ SNR สูงสุด	0.9	0.5	0.5

เลือก $w = 0.5$ $c_1r_1 = 0.1$ $c_2r_2 = 0.5$ เพราะ จากตาราง ค่า SNR ที่ได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.8440 dB แต่รอบที่ได้ SNR สูงสุดอยู่ในรอบที่ 50 เป็นรอบที่มากเกินไป แต่ค่า SNR ของทั้ง 3 ตัวในตารางมีค่าต่างกันไม่มาก SNR อีกสองตัวมีรอบที่ได้ SNR สูงสุดมีค่าเท่ากันแต่ตัวที่มีค่า $w = 0.5$ $c_1r_1 = 0.1$ $c_2r_2 = 0.5$ มีค่า SNR มากกว่ามีค่าเท่ากับ 17.7332 dB

4.2 แสดงตัวอย่างการออกแบบควอนไทเซชั่น

4.2.1 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 1 $f_X(x) = 1/8$

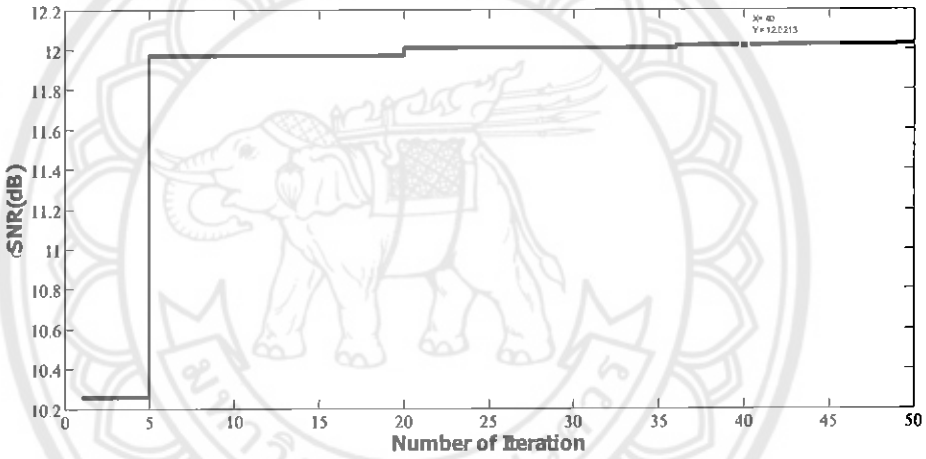
ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่นเท่ากับ 4 ระดับ

ข. สัญญาณ PDF =1/8 และช่วงของ PDF= [-4 4]

ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [-3 3]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ

จ. ใช้ค่า $w = 0.9$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$



รูปที่ 4.17 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 1 $f_X(x) = \frac{1}{8}$

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 1 ได้เท่ากับ 12.0408 dB ในการทำงานรอบที่ 25 และได้ค่าพาร์ทิเคิล 4 ตัวเท่ากับ [-2.9872 -0.9847 1.0160 2.9865]

4.2.2 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$

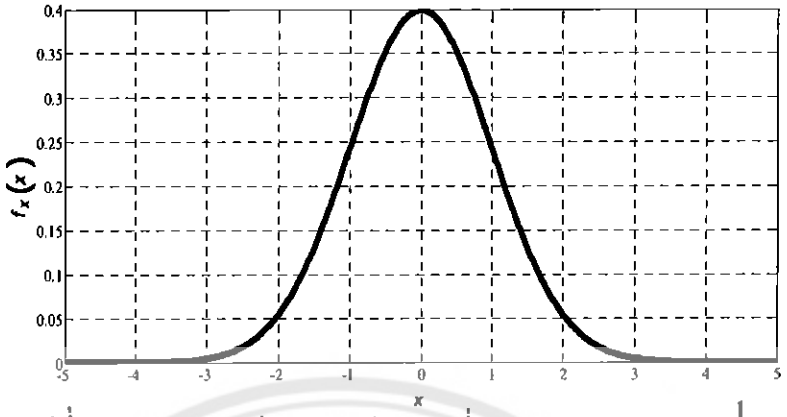
ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่น เท่ากับ 4 ระดับ

ข. สัญญาณ PDF = $\frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$ และช่วงของ PDF= [-inf inf]

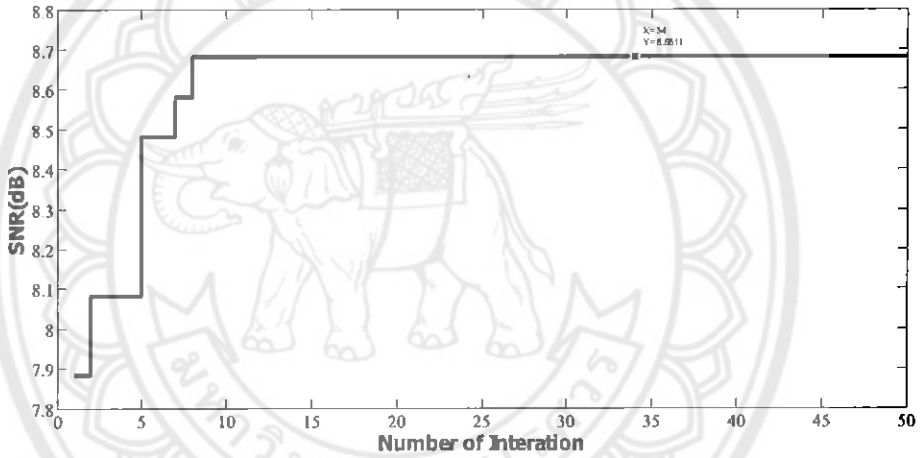
ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [-2 2]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ

จ. ใช้ค่า $w = 0.1$ $c_1 r_1 = 0.5$ และ $c_2 r_2 = 0.1$



รูปที่ 4.18 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$



รูปที่ 4.19 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 2 $f_X(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2)}$

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 2 ได้เท่ากับ 8.68 dB ในการทำงานรอบที่ 7 และจะได้พาร์ทิเคิล 4 ตัวเท่ากับ [-1.2928 -0.3356 0.5306 1.6038]

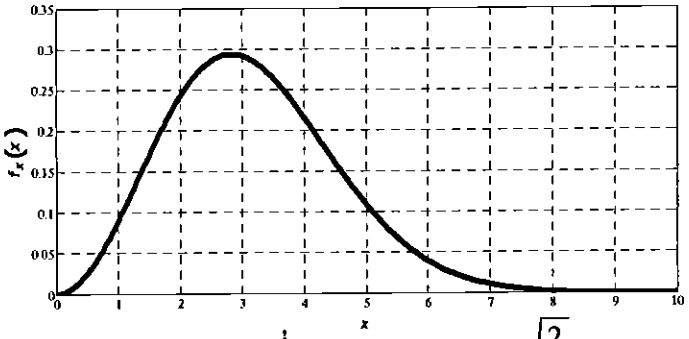
4.2.3 PDF ของสัญญาณตัวอย่างที่ 3 $f_X(x) = \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}}$

ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่น เท่ากับ 4 ระดับ

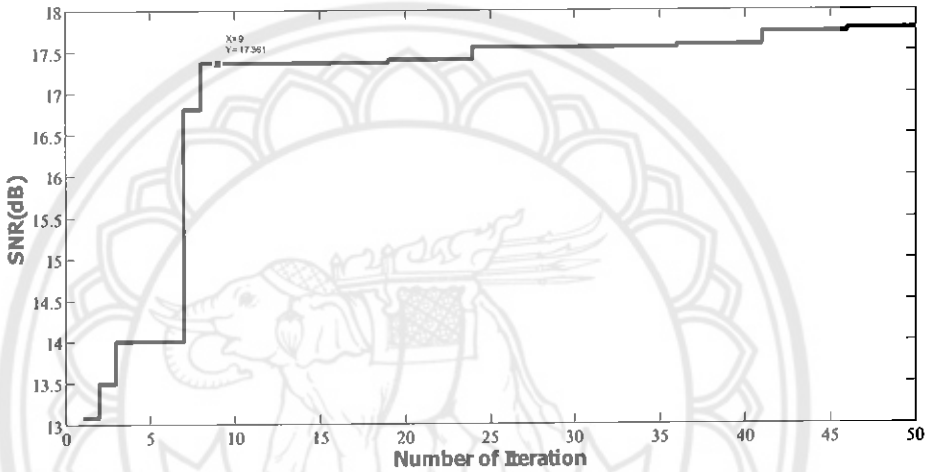
ข. สัญญาณ PDF $= \frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2}}$ และช่วงของ PDF= [0 inf]

ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [0 5]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ



รูปที่ 4.22 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 4 $f_X(x) = 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2)$



รูปที่ 4.23 แสดงตัวอย่าง SNR สัญญาณที่ 4 $f_X(x) = 0.125 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} * x^2 * \exp(-0.25x^2/2)$

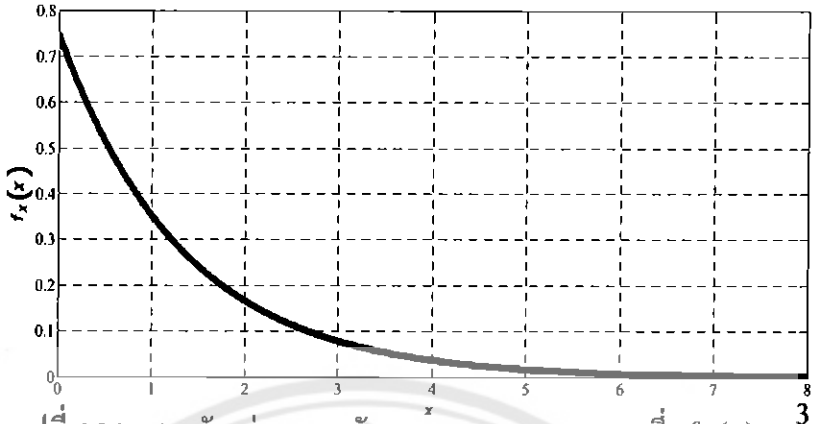
ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณที่ 4 ได้เท่ากับ 17.77 dB ในการทำงานรอบที่ 15 และจะได้ค่าพาร์ทิเคิล 4 ตัวเท่ากับ [1.6562 2.8768 4.0446 5.5688]

4.3 เปรียบเทียบการออกแบบควอนไทเซชั่นแบบ พาร์ทิเคิลสวอร์ม กับ Lloyd Max

การเปรียบเทียบการออกแบบควอนไทเซชั่นแบบพาร์ทิเคิลสวอร์ม กับ Lloyd Max จะใช้สัญญาณ PDF 3 แบบและอ้างอิงค่า SNR ที่ได้จากกระบวนการ Lloyd Max จากการศึกษาการควอนไทเซชั่นอย่างเหมาะสมที่สุดโดยหลักการ Lloyd Max ของ นางสาว พนัยย์ สุวรรณพัฒน์ ดังนี้

4.3.1 การออกแบบควอนไทเซชั่นที่มี PDF แบบ Exponential

ป้อน PDF แบบ Exponential เท่ากับ $\frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$ ใช้ตัวแปรของพาร์ทิเคิลคือ $r_1c_1 = 0.9$ $c_2r_2 = 0.9$ $w = 0.1$



รูปที่ 4.24 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Exponential ที่ $f_X(x) = \frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$

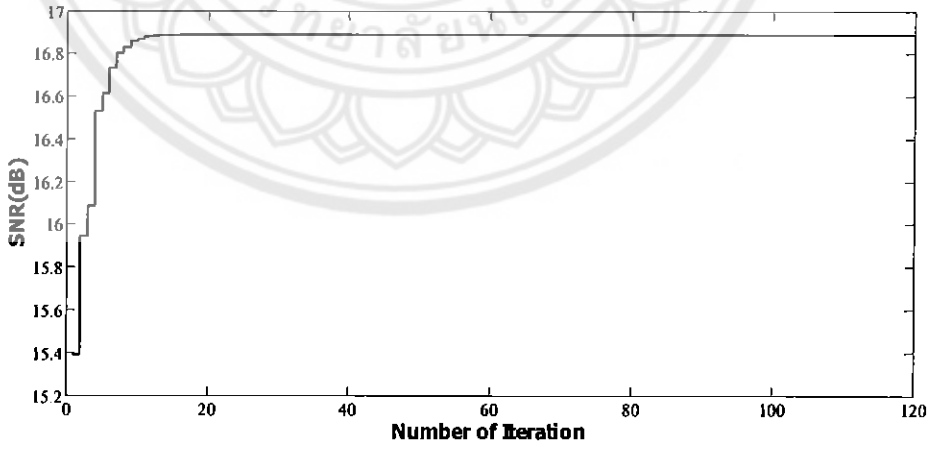
ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่นเท่ากับ 8 ระดับ

ข. สัญญาณ PDF = $\frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$ และช่วงของ PDF= [0 inf]

ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [0 5]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ

จ. ใช้ค่า $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.9$ และ $c_2r_2 = 0.9$



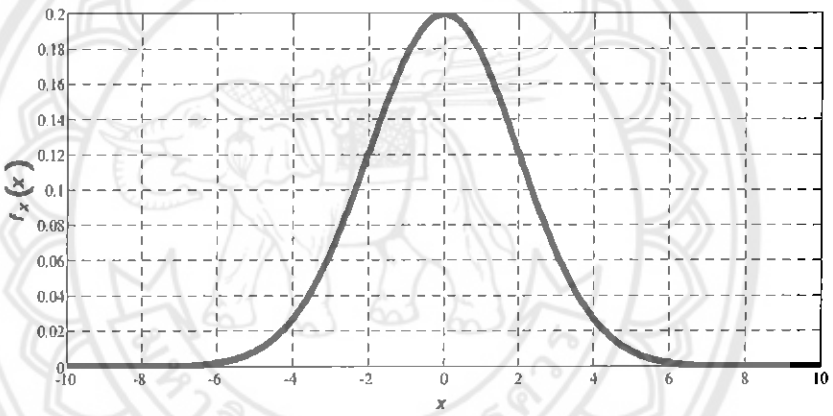
รูปที่ 4.25 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Exponential ที่ $f_X(x) = \frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Exponential ที่ $\frac{3}{4}e^{-\frac{3}{4}x}$ ได้เท่ากับ 16.8917 dB ในการทำงานรอบที่ 15 และได้ค่าพาร์ทิเคิล 8 ตัวเท่ากับ [0.3906 0.8552 1.3342 1.8279 2.9067 4.3954 5.5581 7.0082]

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Exponential ของกระบวนการ Lloyd-Max จะได้เท่ากับ 17.70 dB และได้ค่าแต่ละระดับ 8 ตัวเท่ากับ [0.30 0.99 1.78 2.69 3.75 5.03 6.73 9.47]

4.3.2 การออกแบบควอนไทเซชั่นที่มี PDF แบบ Gaussian

ป้อน PDF แบบ Gaussian เท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{2\pi}2}e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$ ใช้ค่าตัวแปรของพาร์ทิเคิล คือ $r_1c_1 = 0.5$ $c_2r_2 = 0.9w = 0.1$



รูปที่ 4.26 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}2}e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$

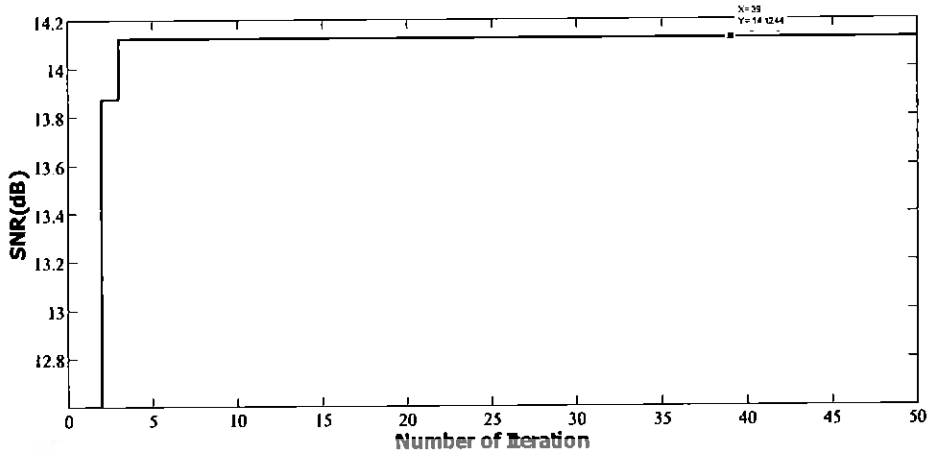
ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่นเท่ากับ 8 ระดับ

ข. สัญญาณ PDF $= \frac{1}{\sqrt{2\pi}2}e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$ และช่วงของ PDF= [-inf inf]

ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [0 5]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ

จ. ใช้ค่า $w = 0.1$ $c_1r_1 = 0.5$ และ $c_2r_2 = 0.1$



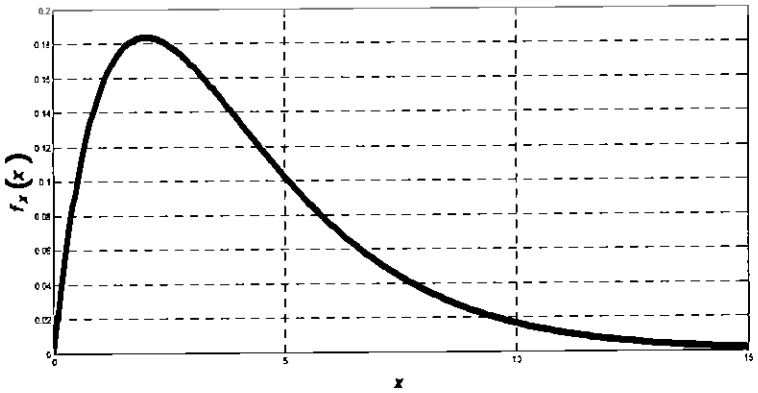
รูปที่ 4.27 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}2} e^{-\frac{x^2}{2*2^2}}$

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Gaussian ที่ $\frac{1}{\sqrt{2\pi}2} e^{-\frac{x^2}{2\times 2^2}}$ ได้เท่ากับ 14.1244 dB ในการทำงานรอบที่ 3 และได้ค่าพาร์ทิเดิล 8 ตัวเท่ากับ [-4.3358 -2.9244 -1.7555 -0.5617 0.6173 1.7809 3.2615 5.5875]

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Exponential ของกระบวนการ Lloyd-Max ได้เท่ากับ 14.56 dB และได้ค่าแต่ละระดับ 8 ตัวเท่ากับ [-4.27 -2.62 -1.39 -0.30 0.74 1.80 2.98 4.56]

4.3.3 การออกแบบควอนไทเซชั่นที่มี PDF แบบ Erlang

ป้อน PDF แบบ Gaussian เท่ากับ $\left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$ โดยใช้ค่าตัวแปรของพาร์ทิเดิล คือ $r_1c_1 = 0.1$ $c_2r_2 = 0.5$ $w = 0.5$



รูปที่ 4.28 แสดงตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$

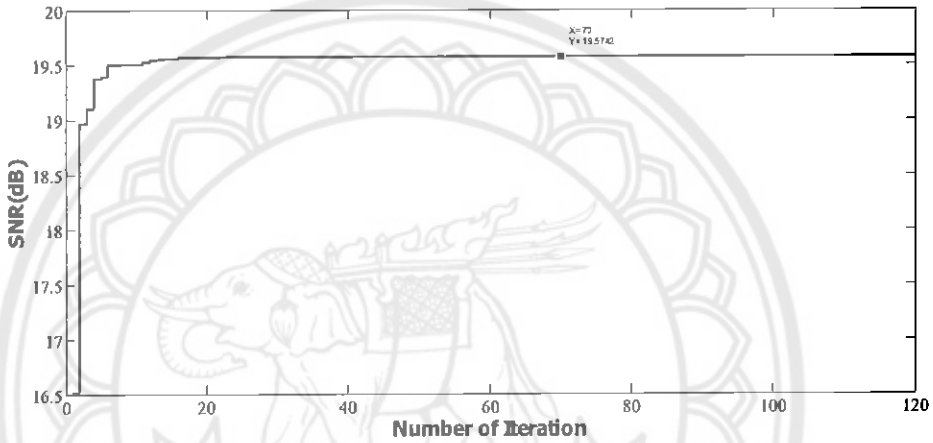
ก. กำหนดจำนวนระดับควอนไทเซชั่นเท่ากับ 8 ระดับ

ข. สัญญาณ PDF = $\left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$ และช่วงของ PDF= [-inf inf]

ค. ช่วงที่ต้องการให้สุ่มค่าพาร์ทิเคิล = [0 5]

ง. จำนวนรอบที่ต้องการให้ทำงาน = 50 รอบ

จ. ใช้ค่า $w = 0.5$ $c_1r_1 = 0.1$ และ $c_2r_2 = 0.5$



รูปที่ 4.29 แสดงค่า SNR ของตัวอย่าง PDF สัญญาณแบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$

ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Gaussian ที่ $f_X(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 xe^{-\frac{1}{2}x}$ ได้เท่ากับ 19.4607 dB ในการทำงานรอบที่ 3 และได้ค่าพาร์ทิเคิล 8 ตัวเท่ากับ [1.0170 2.1082 3.4315 4.7501 6.3166 7.8799 10.3608 14.0547] ค่า SNR ของตัวอย่าง PDF แบบ Exponential ของกระบวนการ Lloyd Max ได้เท่ากับ 19.33 dB และได้ค่าแต่ละระดับ 8 ตัวเท่ากับ [1.22 2.76 4.34 6.03 9.70 10.10 12.96 17.49]

จากการดำเนินโครงงานนี้ไม่ว่าจะเลือกการออกแบบควอนไทเซชั่น แบบ พาร์ทิเคิลสวอร์ม หรือ Lloyd Max ทั้งสองแบบสามารถปรับหาตำแหน่งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ และได้ค่า SNR ที่เหมาะสมที่สุดออกมาได้

ต่อไปจะแสดงตารางการเปรียบเทียบค่า SNR ที่ได้จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม กับ Lloyd Max ของสมการ PDF ที่ได้กล่าวไปแล้วทั้ง 3 แบบด้านบนคือ PDF แบบ Exponential แบบ Gaussian และแบบ Erlang โดยจะแสดงเป็นรอบการทำงานของกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม แต่ค่า SNR จากกระบวนการ Lloyd Max ได้มาจากการศึกษาการควอนไทเซชั่นอย่างเหมาะสมที่สุด

โดยหลักการ Lloyd Max ของ นางสาว พนัยย์ สุวรรณพัฒน์ นั้นไม่ทราบจำนวนรอบของการทำงานที่ทำให้ได้ SNR ที่เหมาะสมทั้ง 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.6

4.4 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า SNR ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการเปรียบเทียบ

		SNR (dB)											
		PDF แบบ Exponential				PDF แบบ Gaussian				PDF แบบ Erlang			
Lloyd-Max		17.70				14.56				19.33			
	รอบ	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120
	ครั้งที่												
PSo	1	15.5	16.6	16.7	16.7	12.9	13.4	13.5	13.6	18.53	18.54	18.54	18.54
	2	16.9	16.9	16.9	16.9	12.8	12.8	12.8	12.8	19.3	19.46	19.46	19.46
	3	16.3	16.33	16.33	16.33	14.12	14.12	14.12	14.12	17.6	17.69	17.69	17.69
	4	23.5	23.55	23.55	23.55	13.58	13.58	13.58	13.58	18.12	18.12	18.12	18.12
	5	16.7	16.75	16.75	16.75	12.30	12.30	12.30	12.30	18.31	18.31	18.31	18.31
	6	16.9	16.9	16.9	16.9	12.52	12.52	12.52	12.52	19.57	19.57	19.57	19.57
	7	15.9	15.9	15.9	15.9	12.22	12.22	12.22	12.22	18.68	18.68	18.68	18.68
	8	16.0	16.01	16.01	16.01	12.22	12.22	12.22	12.22	17.5	17.52	17.52	17.52
	9	23.4	23.55	23.55	23.55	12.22	12.22	12.22	12.22	19.46	19.46	19.46	19.46
	10	23.5	23.55	23.55	23.55	12.22	12.22	12.22	12.22	19.57	19.57	19.57	19.57
ค่าเฉลี่ย		18.4	18.6	18.61	18.61	12.71	12.76	12.77	12.78	18.66	18.69	18.69	18.69

4.4.1 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Exponential

จากตารางที่ 4.7 ได้ค่าเฉลี่ย SNR จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม เท่ากับ 18.61 dB จากการคำนวณ 120 รอบ มีค่ามากกว่าค่า SNR ได้จากกระบวนการ Lloyd Max มีค่า SNR = 17.7 dB

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่า SNR ของ PDF แบบ Exponential ที่ถูกออกแบบควอนไทเซชั่น โดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม ดีกว่ากระบวนการ Lloyd Max

4.4.2 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Gaussian

จากตารางที่ 4.7 ได้ค่าเฉลี่ย SNR จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม เท่ากับ 12.78 dB จากการคำนวณ 120 รอบ แต่มีค่าน้อยกว่าค่า SNR ที่ได้จากกระบวนการ Lloyd Max ดังนั้นสรุปได้ว่าค่า SNR ของ PDF แบบ Gaussian ที่ถูกออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการ Lloyd Max ดีกว่ากระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

4.4.3 วิเคราะห์ผล PDF แบบ Erlang

จากตารางที่ 4.7 ได้ค่าเฉลี่ย SNR จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม เท่ากับ 18.69 dB จากการคำนวณ 120 รอบ แม้จะได้ค่า SNR ในรอบที่ 2 6 9 และ 10 สูงสุดมากกว่าค่า SNR จากกระบวนการ Lloyd Max แต่ค่าเฉลี่ยที่ออกมามีค่า น้อยกว่าค่า SNR ที่ได้จากกระบวนการของ Lloyd Max ดังนั้นสรุปได้ว่าค่า SNR ของ PDF แบบ Erlang ที่ถูกออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการ Lloyd Max ดีกว่ากระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม

จากตารางที่ 4.7 PDF แบบ Exponential ค่า SNR จากการออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการ พาร์ทิเคิลสวอร์มค่า SNR เฉลี่ยที่ได้ในรอบที่ 30 60 90 และ 120 มีค่าต่างกัน ประมาณ 0.2 dB แล้ว PDF แบบ Gaussian ได้ SNR เฉลี่ยของในแต่ละรอบต่างกันประมาณ 0.1 dB และ PDF แบบ Erlang มี SNR เฉลี่ยของแต่ละรอบต่างกันประมาณ 0.03 dB ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม สามารถคำนวณเพียงแค่ 30 รอบจะสามารถได้ค่า SNR ที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าพาร์ทิเคิลสวอร์ม สามารถคำนวณหาค่าที่เหมาะสมได้รวดเร็ว PDF แบบ Exponential ได้ SNR จากกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มต่างจากค่า SNR ที่ได้จากกระบวนการ Lloyd Max ไม่ถึง 1 dB PDF แบบ Gaussian ได้ค่า SNR จากทั้งสองกระบวนการต่างกันประมาณ 2 dB และ PDF แบบ Erlang ค่า SNR จากทั้งสองกระบวนการจะมีค่าต่างกันประมาณ 0.6 dB

ดังนั้นสรุปได้ว่า การออกแบบควอนไทเซชั่น สามารถทำได้ทั้งสองกระบวนการคือ ทั้งกระบวนการแบบพาร์ทิเคิลสวอร์ม และกระบวนการ Lloyd Max

หมายเหตุ จากการออกแบบควอนไทเซชั่นโดยกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มได้ค่า SNR ออกมาซ้ำกันเพราะ ช่วงของตัวพาร์ทิเคิลที่ให้โปรแกรมแมทแลป สุ่มโปรแกรมอาจจะสุ่มค่าออกมามีค่าซ้ำกัน

ในบทนี้ได้แสดงการออกแบบควอนไทเซชั่นแบบพาร์ทิเดิลสวอร์ม และแสดงการเปรียบเทียบกับการออกแบบโดยกระบวนการ Lloyd Max ในบทต่อไปจะเป็นการสรุปผลการดำเนินโครงงาน และปัญหาที่พบขณะทำโครงงาน

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินโครงงาน

หัวข้อโครงงานนี้มีที่มาได้เพราะ ต้องการลดกำลังของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากขั้นตอนการออกแบบควอนไทเซชั่นจากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงแสดงการศึกษาการออกแบบควอนไทเซชั่น และศึกษากระบวนการที่จะสามารถลดค่า กำลังของสัญญาณรบกวนจากการออกแบบควอนไทเซชั่นลงได้ ผู้จัดทำโครงงานได้เลือกกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มขึ้นมาศึกษา

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้ได้ศึกษา และจำลองการออกแบบควอนไทเซชั่นด้วยโปรแกรม MATLAB ในการดำเนินโครงงานโดยใช้หลักการของพาร์ทิเคิลสวอร์ม เพื่อให้ได้ค่า SNR ที่สูงขึ้น และได้ตำแหน่งการควอนไทเซชั่นที่เหมาะสม

โครงงานนี้ได้แสดงการประยุกต์ใช้ กระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มการหาตัวแปรที่เหมาะสมของกระบวนการ เพื่อให้สามารถหาค่า SNR ที่เพิ่มจนถึงค่าที่เหมะสมได้รวดเร็ว และแสดงเป็นกราฟของแต่ละสัญญาณที่นำมาทดสอบ และแสดงตำแหน่งระดับการควอนไทเซชั่นที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในระบบการสื่อสารจริงส่งผลให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากผลการดำเนินโครงงานพบว่าสามารถสร้างโปรแกรมจำลองการควอนไทเซชั่นด้วยวิธีการพาร์ทิเคิลสวอร์ม ได้ผลการคำนวณที่รวดเร็วและถูกต้อง และสามารถแสดงค่าเพิ่มขึ้นของค่า SNR และได้ทราบถึงตำแหน่งการควอนไทเซชั่นที่เหมาะสมและเปรียบเทียบกับการออกแบบโดยหลักการ Lloyd Max ผลออกมามีค่า SNR ไม่แตกต่างกันมาก

โครงงานนี้แสดงให้เห็นแล้วว่า ไม่ได้มีเพียงกระบวนการ Lloyd Max เท่านั้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบควอนไทเซชั่น ยังมีกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มอีกที่สามารถนำมาใช้ได้และ อาจจะมีกระบวนการอื่นอีกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบควอนไทเซชั่น เช่น Genetic Algorithm และ อีกหลายกระบวนการ อาจจะให้ค่า SNR ได้เหมาะสมกว่าทั้งสองกระบวนที่แสดงในโครงงานนี้ สามารถนำมาศึกษาเป็นหัวข้อโครงงานต่อไปได้

5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน

1) ช่วงแรกคิดว่ากระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม อาจจะไม่สามารถใช้ การออกแบบควอนไทเซชั่นได้เพราะกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์ม สามารถหาค่าที่เหมาะสม ได้เพียงแค่ค่าเดียวแต่ในการออกแบบควอนไทเซชั่น จะต้องการค่าที่เหมาะสมออกมาตามจำนวนระดับของควอนไทเซชั่น และตอนนั้นยังไม่ทราบถึงหลักการของเวกเตอร์
2) จับเนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งในโปรแกรมแมทแลป ผู้ดำเนินโครงงานไม่มีความเข้าใจคำสั่งอย่างแท้จริง จำทำให้เกิดความล่าช้าในขณะดำเนินโครงงาน
3) เนื่องจากโปรแกรมมีการคำนวณมากพอสมควร ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์อาจจะแสดงผลล่าช้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ควรวาดกราฟสมการของ PDF ก่อนจากนั้นดูช่วงที่ PDF มีค่าสูงจากกราฟ นำไปป้อนในโปรแกรม
2) ไม่ควรทำการทดลองเพียงรอบเดียว เพราะกระบวนการพาร์ทิเคิลสวอร์มสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้จากการสุ่ม
3) ถ้านำโครงงานนี้ไปปรับให้มีความเหมาะสมแล้ว สามารถที่จะนำไปเป็นสื่อการเรียนการสอนได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรเชษฐ์ กานต์ประชา และ ชัยรัตน์ พินทอง "ปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคม 1 เรื่อง การสุ่มตัวอย่างสัญญาณ"

[2] Tharadol Komolmis "บทที่ 4 การสื่อสารระบบดิจิตอล http://www.doe.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee441/text/w7441_4.pd

[3] สุรเชษฐ์ กานต์ประชา "Digital Communications เรื่องการ Quantization Lecture 9

[4] พนัยย์ สุวรรณพัฒน์ (2551) "ศึกษาการควอนไทเซชั่นอย่างเหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการ Lloyd-Max" ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

[5] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์ "การพัฒนาวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่นด้วยการเลียนแบบโครงสร้างการเรียนรู้ทางสังคมแบบหลากหลาย" วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) สถาบันเทคโนโลยีไทย–ญี่ปุ่น

[6] วิญญู ศิลาบุตร (2552) "การออกแบบสายอากาศแบบแทบบาง โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ พาร์ทิเคิลสวอร์ม" ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[7] ณัฏฐพงษ์ คำขาด (2551) "การศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการพาร์ทิเคิลสวอร์มและเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อจัดเรียงเครื่องจักรในการผลิตแบบยืดหยุ่น" วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

ภาคผนวก

รหัสโปรแกรมแมทแลปการออกแบบควอนไทเซชั่น

```
clear all;
Vector_number=10;
N_level=input('enter the Quantization level or number Particle =');
f_x=input('pdf=');
r=input('Enter require the range of Quantization [r_min r_max]=');
e=single(int(f_x,'x',r(1,1),r(1,2)));
if e==1
P_r=input('Enter require range of Particle =');
l=input('Enter require number of cycles =');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
G_best=[];
P_b=[];
P_G=[];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Fitness funtion %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
q=sort(random('Uniform',P_r(1,1),P_r(1,2),Vector_number,N_level)')';
v=sort(random('Uniform',0,4,Vector_number,N_level)')';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

 w=0.1;
 cr1=0.5;
 cr2=0.1;

for c=1:1
for i=1:Vector_number
for ii=1:1:N_level+1
    if ii==1
        Q_bound(i,ii)=r(1,1);
    end
    if ii==N_level+1
        Q_bound(i,ii)=r(1,2);
    end
    if (ii>1)&&(ii<=N_level)
        Q_bound(i,ii)=(q(i,ii-1)+q(i,ii))/2;
    end
end
syms x
for ii=1:1:N_level
    Equation_dummy=['(x-',num2str(q(i,ii)),')^2*',f_x];

Q_noise(i,ii)=single(int(Equation_dummy,'x',Q_bound(i,ii),Q_bound(i,
ii+1)));
end
end
N=sum(Q_noise');
p=(int(x^2*(f_x),x,r(1,1),r(1,2)));

for i=1:Vector_number
SNR(i)=single(10*log10(p/N(i)));
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
P_b=max(SNR);
x_index=find(SNR==max(SNR));
index=x_index(1,1);

    P=sort(q(index,:));

P_G=[P_G;P];
```

```
 if c==1
     G_best=[G_best P_b]
     P_P=sort(P_G)
 else
     if G_best(c-1)<P_b
        G_best=[G_best P_b]
       P_P=sort(P_G(c,:))
else
        G_best=[G_best G_best(c-1)]
        P_P=sort(P_G(c-1,:))
     end
 end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%                Particle               Swarm
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
V_n=[];
Q=[];
mV_n=[];
mQ=[];
for i=1:Vector_number
for ii=1:N_level
        V_n=(w*v(i,ii))+(cr1*(P(ii)-q(i,ii)))+(cr2*(P_P(ii)-
q(i,ii)));
            Q=q(i,ii)+V_n;
            mV_n(i,ii)=V_n;
            mQ(i,ii)=Q;
end
end
for i=1:Vector_number
    if mQ(i,1)<r(1,1)
        mQ(i,1)=P_r(1,1);
    end
     if mQ(i,N_level)>r(1,2)
        mQ(i,N_level)=P_r(1,2);
    end
end
q=mQ;
v=mV_n;
end
G_best
P_P
stairs(G_best)
end
if e~=1
    'Cannot Calculate Because your PDF may mistake and you would
check rang of PDF again  '
end
```