

บทที่ 4

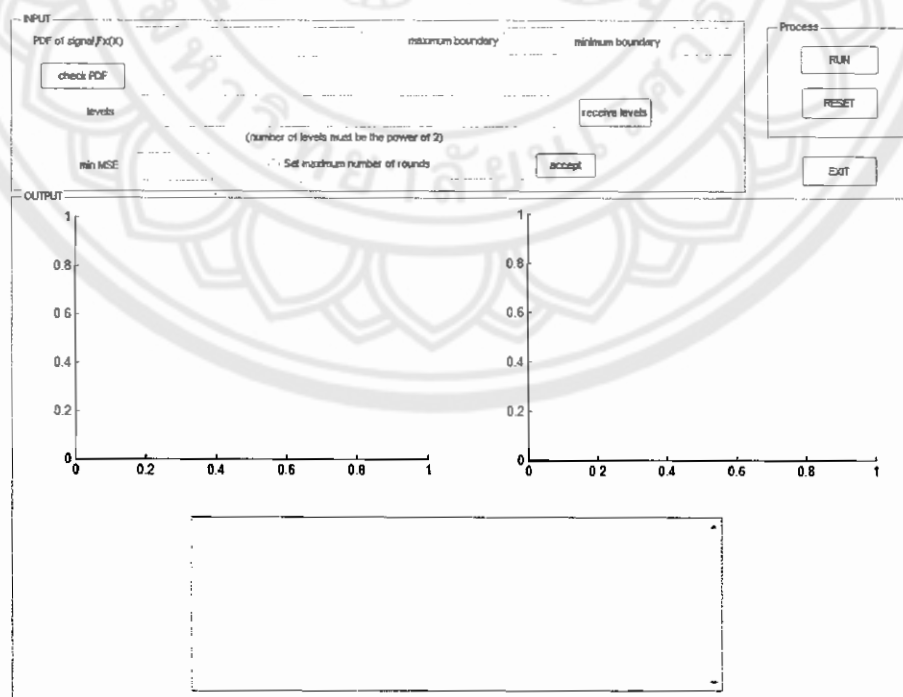
ผลการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองเมื่อใส่ข้อมูลเข้าไปแล้ว โปรแกรมจะจำลองการทำงาน การควอนไทซ์ PDF ของสัญญาณ ด้วยหลักการของ Lloyd-Max ซึ่งโปรแกรมสามารถแสดงค่า MSE หรือ P_{noise} ที่ค่อยๆลดลง และตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ค่อยๆปรับ ไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมด้วย โดยจะแสดงผลการทดลองนี้ในรูปแบบของ Graphical User Interfaces

4.1 โปรแกรมแสดงการควอนไทซ์สัญญาณ

4.1.1 รายละเอียดของโปรแกรม และขั้นตอนการรันโปรแกรม

1. เปิดหน้าต่างโปรแกรม โดยโปรแกรมนี้อาจประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ INPUT OUTPUT และ Process ดังรูปที่ 4.1 โดยจะทำการป้อนข้อมูลทั้งหมดในส่วนของ INPUT ส่วน Process มีหน้าที่เมื่อต้องการแสดงผลหรือป้อนข้อมูลใหม่ ส่วน OUTPUT จะทำการแสดงผลหลังจากกดคลิกที่ส่วน Process ปุ่ม EXIT กดคลิกเมื่อต้องการออกจากโปรแกรม



รูปที่ 4.1 หน้าต่างของโปรแกรม

2. การป้อนข้อมูลลงในส่วน INPUT รูปที่ 4.2 ประกอบ

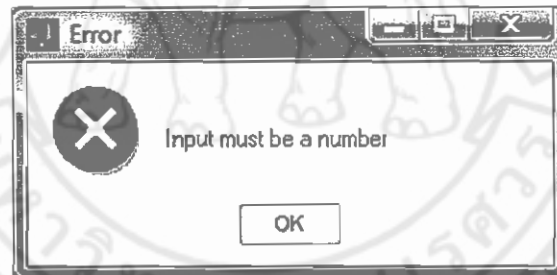
INPUT

PDF of signal $F_X(X)$	(1)	maximum boundary	(2)	minimum boundary	(3)
(4) check PDF	(5)			(6)	receive levels (7)
levels	(number of levels must be the power of 2)				
min MSE	(8)	Set maximum number of rounds (10)	accept (11)		
(9)					

รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการป้อนข้อมูลต่างๆลงใน INPUT

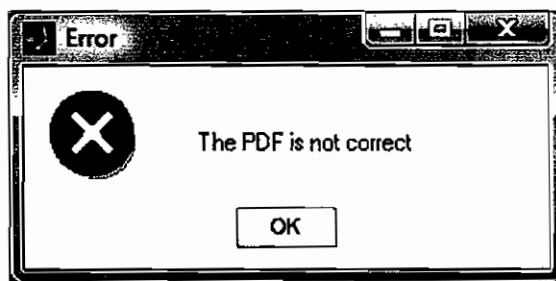
จากรูปที่ 4.2 ควรป้อนข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆดังนี้ดังนี้

- (1) ช่องใส่ สมการ PDF ของสัญญาณ ในที่นี้จะยกตัวอย่างสมการ คือ
- (2) ป้อนค่าขอบเขตบนของสมการ หากทำการป้อนค่าที่ไม่ใช่ตัวเลข โปรแกรมจะแสดงข้อความ error ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงข้อความเมื่อป้อนค่าที่ไม่ใช่ตัวเลข

- (3) ป้อนค่าขอบเขตล่างของสมการ หากทำการป้อนค่าที่ไม่ใช่ตัวเลข โปรแกรมจะแสดงข้อความ error ดังรูปที่ 4.3 เช่นกัน
- (4) ปุ่มเพื่อตรวจสอบ PDF ของสัญญาณ รวมถึงขอบเขตบนและขอบเขตล่าง ว่าถูกต้องหรือไม่
- (5) หลังจากกดคลิกที่ปุ่ม check PDF แล้ว ถ้าสมการนั้นถูกต้องตามเงื่อนไข คือ อินทิเกรตสมการแล้วมีค่าเท่ากับ 1 จะแสดงข้อความว่า “The given PDF is valid” แต่ถ้าสมการไม่เป็นไปตามเงื่อนไข โปรแกรมจะแสดงข้อความ error ดังรูปที่ 4.4

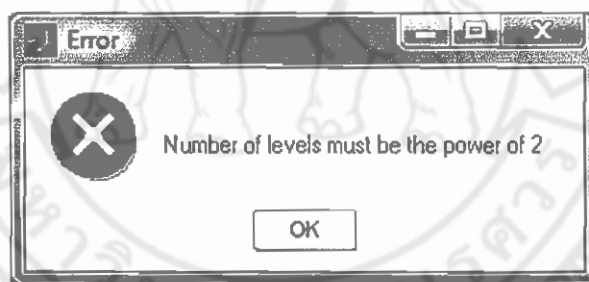


รูปที่ 4.4 แสดงข้อความเมื่อป้อนสมการที่ไม่ถูกต้อง

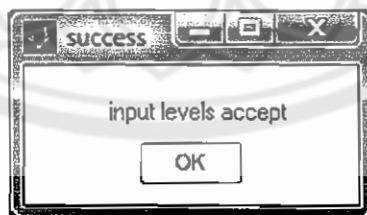
(6) ป้อนจำนวนระดับของสัญญาณ โดยจะต้องป้อนจำนวนระดับให้เป็นไปตามเงื่อนไข 2^n

(n คือ เลขจำนวนเต็มบวก) ระดับเท่านั้น

(7) เมื่อป้อนระดับของสัญญาณเรียบร้อยแล้ว หลังจากกดคลิกที่ปุ่ม receive levels ปุ่มนี้จะทำการตรวจสอบ หากป้อนจำนวนระดับไม่ถูกต้องตามเงื่อนไขแล้ว โปรแกรมจะแสดงข้อความ error และหากป้อนจำนวนข้อมูลถูกต้อง โปรแกรมก็จะแสดงข้อความ success ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 แสดงข้อความเมื่อป้อนจำนวน levels ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 4.6 แสดงข้อความเมื่อป้อนจำนวน levels ถูกต้อง

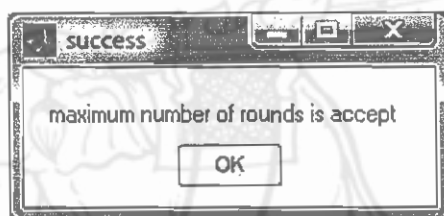
(8) ช่องสำหรับใส่ค่าผิดพลาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งถ้าป้อนค่าที่ไม่ใช่ตัวเลข โปรแกรมจะแสดงข้อความดังรูปที่ 4.3 อีกเช่นกัน

(9) ปุ่มสำหรับเมื่อต้องการกำหนดจำนวนรอบการรันโปรแกรม

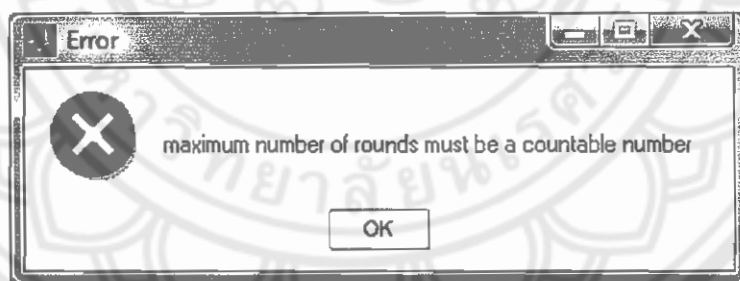
(10) ช่องสำหรับใส่จำนวนรอบที่ต้องการให้โปรแกรมรันออกมา

โดยเมื่อคลิกเลือกปุ่มที่ (9) หรือ Set maximum number of rounds แล้ว โปรแกรมจะคำนวณผลจากการกำหนดค่าในช่องที่ (8) หรือ min MSE และ ช่องที่ (10) ด้วย แต่ถ้าไม่ได้คลิกเลือกปุ่มที่ (9) โปรแกรมก็จะคำนวณเพียงช่องที่ (8) เท่านั้น

(11) เมื่อใส่จำนวนรอบในช่องที่ (10) แล้ว ปุ่ม accept นี้ จะทำการตรวจสอบว่า จำนวนรอบที่ใส่ไปนั้นเป็นจำนวนนับหรือไม่ ถ้าเป็นจำนวนนับ โปรแกรมจะแสดงข้อความ success แต่ถ้าไม่เป็นจำนวนนับ ก็จะแสดงข้อความ error ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ แต่ถ้าป้อนจำนวนรอบที่ไม่ใช่ตัวเลขลงไปก็จะแสดงข้อความดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.7 แสดงข้อความเมื่อป้อนจำนวนรอบถูกต้อง



รูปที่ 4.8 แสดงข้อความเมื่อป้อนจำนวนรอบไม่ถูกต้อง

3. เมื่อต้องการแสดงผลที่ป้อนลงใน INPUT เรียบร้อยแล้ว ให้คลิกปุ่ม RUN หากต้องการ Reset ข้อมูลทั้งหมดหรืออยากป้อนค่าใหม่ ให้คลิกปุ่ม RESET เพื่อทำการล้างข้อมูลก่อนหน้า

4. ในส่วนของ OUTPUT จะแสดงผลหลังจากที่กดปุ่ม RUN จากรูปที่ 4.1 ในส่วนของ OUTPUT ด้านซ้ายจะแสดงกราฟ PDF ของสัญญาณ ที่ป้อน พร้อมตำแหน่งระดับการควอนไทซ์

โดยตำแหน่งระดับการควอนไทซ์จะสามารถปรับระดับไปเรื่อยๆจนกว่าจะกำลังสัญญาณรบกวน หรือ MSE ที่เหมาะสมกราฟจึงจะหยุดนิ่ง รูปด้านขวาจะเป็นกราฟแสดง MSE ของการควอนไทซ์ และใน Listbox หรือช่องด้านล่างสุดของหน้าต่างโปรแกรม จะแสดงผลการรันโปรแกรมเป็นรอบๆ โดยจะแสดงผลของโปรแกรมไปจนกว่าจะได้ค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดตามที่ ได้ป้อนค่าไว้แล้วใน ส่วนของ INPUT ผลการรันทั้งหมดในส่วน OUTPUT จึงจะหยุดนิ่ง

4.1.2 ตัวอย่างการควอนไทซ์ ที่มี PDF ของสัญญาณ แบบ Exponential

1.ป้อนข้อมูลลงในส่วนของ INPUT ในที่นี้ จะทดลองโดยใช้สมการ PDF คือ

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{3}{4}e^{-3/4x} & ; x \geq 0 \\ 0 & ; otherwise \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\text{Quantization level} \Rightarrow \tilde{x}_k = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\} \quad (4.2)$$

จากนั้นทำการป้อนสมการลงใน โปรแกรม ดังรูปที่ 4.9

INPUT

PDF of signal $F_X(X)$ $(3/4)*\exp(-3/4*x)$ maximum boundary inf minimum boundary 0

check PDF The given PDF is valid

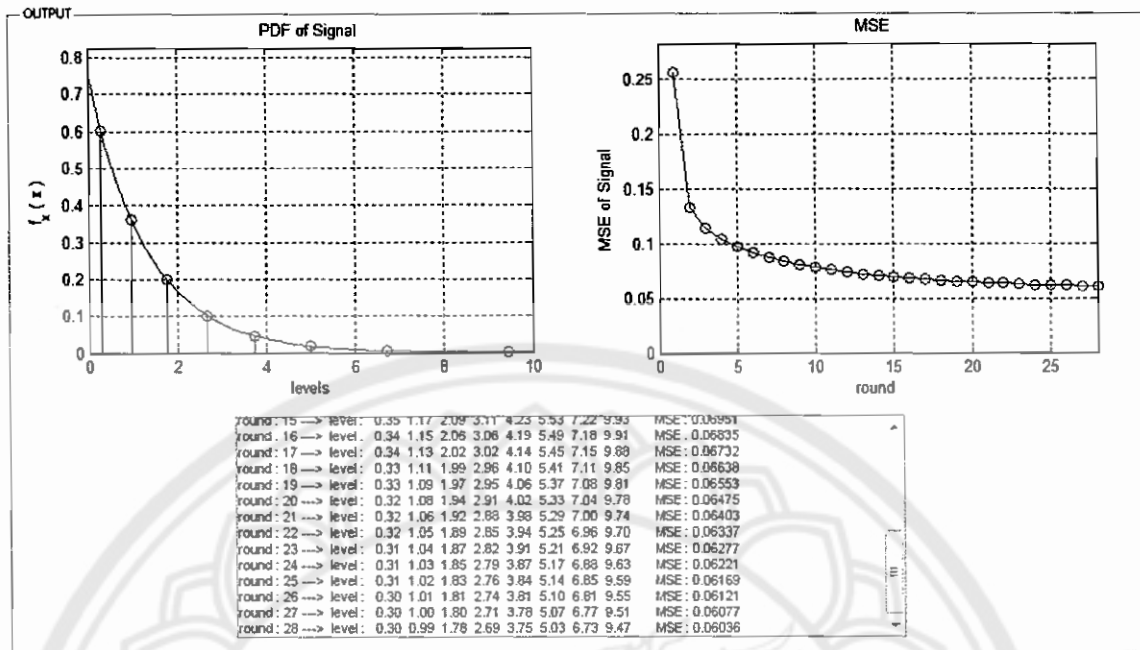
levels 1 2 3 4 5 6 7 8 receive levels

(number of levels must be the power of 2)

min MSE 0.06 Set maximum number of rounds 30 accept

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการป้อนสมการที่มี PDF ของสัญญาณแบบ exponential ลงในส่วน INPUT

2. เมื่อป้อนข้อมูลครบแล้ว ให้กดปุ่ม RUN เพื่อแสดงผลจากการป้อนค่าโดยจะแสดงใน ส่วนของ OUTPUT ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงผลจากการป้อนสมการที่มี PDF ของสัญญาณแบบ exponential

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนข้อมูลในส่วน INPUT ถูกต้องแล้ว จากนั้นทำการกดปุ่ม RUN ในส่วนของ OUTPUT ก็เริ่มทำการประเมินผลโดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ค่า MSE ใกล้เคียงกับค่า 0.06 โปรแกรมจึงหยุดนิ่ง โดยกราฟ PDF of signal ที่อยู่ทางด้านซ้าย จะปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยสอดคล้องกับค่า min MSE ส่วนกราฟ MSE ที่อยู่ทางด้านขวา จะเห็นค่า MSE of Signal จะค่อยๆลดลงจนใกล้เคียงกับค่า min MSE และใน Listbox หรือช่องแสดงผลการรัน โปรแกรม ได้แสดงผลการรัน โปรแกรมตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบสุดท้าย คือรอบที่ 28 โดยแต่ละรอบได้บอก ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ และค่า MSE โดยจะเห็นว่า รอบที่ 28 นี้ มีตำแหน่งระดับการควอนไทซ์อยู่ที่ 0.30, 0.99, 1.78, 2.69, 3.75, 5.03, 6.73, และ 9.47 มีค่า MSE เท่ากับ 0.06036 ซึ่งลดลงจากรอบที่ 1 โดยรอบที่ 1 คือรอบที่เราได้ป้อนค่าไว้ในส่วนของ INPUT นั่นเอง จะเห็นว่า ได้ค่า MSE ในรอบที่ 1 เท่ากับ 0.2567 จะเห็นว่า ได้ค่า MSE น้อยลงกว่ารอบที่ 1 และได้ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ที่เหมาะสมกว่า

เมื่อทราบค่า MSE ต่ำสุดแล้ว สามารถหาค่า SNR ของ PDF นี้ได้จากสมการที่ (2.1), (2.3) และ (2.4) ดังนี้

$$P_{\text{signal}} = \int_0^{\infty} x^2 \frac{3}{4} e^{-(3/4)x} dx = \frac{32}{9} = 3.5556 \text{ watts} \quad (4.3)$$

$$P_{\text{noise}} = \sigma_q^2 = 0.06036 \text{ watts} \quad (4.4)$$

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \frac{3.5556}{0.06036} = 58.91 \quad (4.5)$$

$$\therefore SNR_{dB} = 10 \log_{10}(58.91) = 17.70 \text{ dB} \quad (4.6)$$

ดังนั้นจะได้ SNR_{dB} ที่มากที่สุดของ PDF ของสัญญาณ นี้ เท่ากับ 17.70 dB

4.1.3 ตัวอย่างการควอนไทซ์ ที่มี PDF ของสัญญาณ แบบ Gaussian

1. ป้อนข้อมูลลงในส่วนของ INPUT ในที่นี้ จะทดลองโดยใช้สมการ PDF คือ

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (4.7)$$

$$\text{Quantization level} \Rightarrow \tilde{x}_k = \{-5, -3.5, -2, 0.5, 1, 2, 3.5, 5\} \quad (4.8)$$

จากนั้นทำการป้อนสมการลงในโปรแกรม ดังรูปที่ 4.11

INPUT

PDF of signal $F_X(x)$ maximum boundary minimum boundary

The given PDF is valid

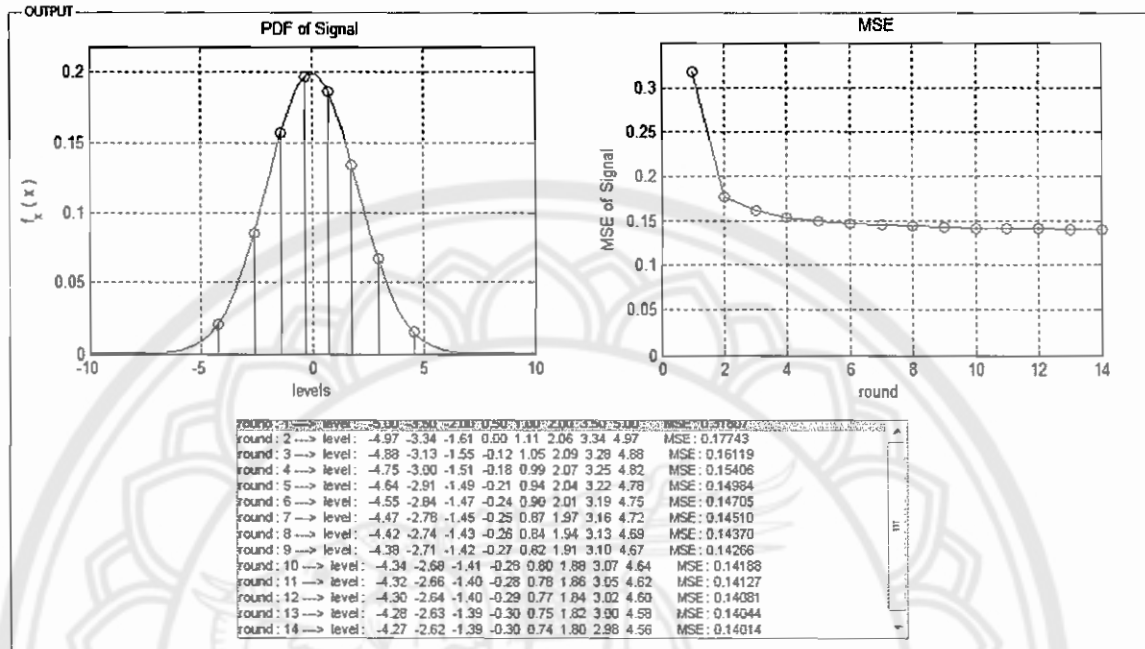
levels

(number of levels must be the power of 2)

min MSE

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการป้อนสมการที่มี PDF ของสัญญาณแบบ Gaussian ลงในส่วน INPUT

2. เมื่อป้อนข้อมูลครบแล้ว ให้กดปุ่ม RUN เพื่อแสดงผลจากการป้อนค่าโดยจะแสดงในส่วนของ OUTPUT ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงผลจากการป้อนสมการที่มี PDF ของสัญญาณ แบบ Gaussian

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนข้อมูลในส่วน INPUT ถูกต้องแล้ว จากนั้นทำการกดปุ่ม RUN ในส่วนของ OUTPUT ก็เริ่มทำการประเมินผลโดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ค่า MSE ใกล้เคียงกับค่า 0.14 โปรแกรมจึงหยุดนิ่งโดยกราฟ PDF of signal ที่อยู่ทางด้านซ้าย จะปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยสอดคล้องกับค่า min MSE ส่วนกราฟ MSE ที่อยู่ทางด้านขวา จะเห็นค่า MSE of Signal จะค่อยๆลดลงจนใกล้เคียงกับค่า min MSE และใน Listbox หรือช่องแสดงผลการรัน โปรแกรม ได้แสดง ผลการรันโปรแกรมตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบสุดท้าย คือรอบที่ 14 โดยแต่ละรอบได้บอก ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ และค่า MSE โดยจะเห็นว่า รอบที่ 14 นี้ มีตำแหน่งระดับการควอนไทซ์อยู่ที่ -4.27, -2.62, -1.39, -0.30, 0.74, 1.80, 2.98, และ 4.56 มีค่าMSE เท่ากับ 0.14014 ซึ่งลดลงจากรอบที่ 1 โดยรอบที่1คือรอบที่เราได้ป้อนค่าไว้ในส่วนของ INPUT นั่นเองโดยค่า MSE ในรอบที่1 เท่ากับ 0.31807 จะเห็นว่า ได้ค่า MSE น้อยลงกว่ารอบที่ 1 และได้ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ที่เหมาะสมกว่า

เมื่อทราบค่า MSE ต่ำสุดแล้ว สามารถหาค่า SNR ของ PDF นี้ได้จากสมการที่ (2.1), (2.3) และ (2.4) ดังนี้

$$P_{signal} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2} x^2 e^{\frac{-x^2}{2 \times 2^2}} dx = 4 \text{ watts} \quad (4.9)$$

$$P_{noise} = \sigma_q^2 = 0.14014 \text{ watts} \quad (4.10)$$

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{4}{0.14014} = 28.5429 \quad (4.11)$$

$$\therefore SNR_{dB} = 10 \log_{10}(28.5429) = 14.56 \text{ dB} \quad (4.12)$$

ดังนั้นจะได้ SNR_{dB} ที่มากที่สุดของ PDF ของสัญญาณนี้ เท่ากับ 14.56 dB

4.1.4 ตัวอย่างการควอนไทซ์ ที่มี PDF ของสัญญาณ แบบ Erlang

1. ป้อนข้อมูลลงในส่วนของ INPUT ในที่นี้ จะทดลองโดยใช้สมการ PDF คือ

$$f_X(x) = \begin{cases} \left(\frac{1}{2}\right)^2 x e^{-1/2x} & ; x \geq 0 \\ 0 & ; otherwise \end{cases} \quad (4.13)$$

$$\text{Quantization level} \Rightarrow \tilde{x}_k = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15\} \quad (4.14)$$

จากนั้นทำการป้อนสมการลงในโปรแกรม ดังรูปที่ 4.13

INPUT

PDF of signal $F_X(X)$ $((1/2)^2) \cdot x \cdot \exp((-1/2) \cdot x)$ maximum boundary inf minimum boundary 0

check PDF The given PDF is valid

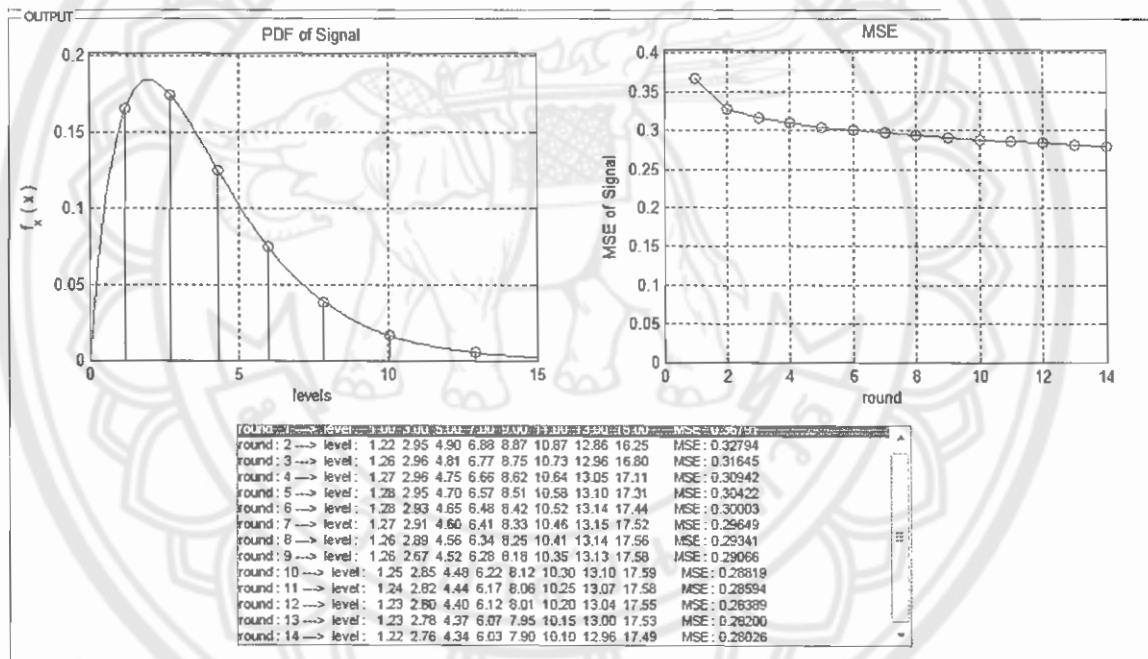
levels 1 3 5 7 9 11 13 15 receive levels

(number of levels must be the power of 2)

min MSE 0.28 Set maximum number of rounds 20 accept

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการป้อนสมการที่มี PDF ของสัญญาณแบบ Erlang ลงในส่วน INPUT

2. เมื่อป้อนข้อมูลครบแล้ว ให้กดปุ่ม RUN เพื่อแสดงผลจากการป้อนค่าโดยจะแสดงในส่วนของ OUTPUT ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงผลจากการป้อนสมการ PDF ของสัญญาณแบบ Erlang

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนข้อมูลในส่วน INPUT ถูกต้องแล้ว จากนั้นทำการกดปุ่ม RUN ในส่วนของ OUTPUT ก็เริ่มทำการประเมินผลโดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ค่า MSE ใกล้เคียงกับค่า 0.3 โปรแกรมจึงหยุดนิ่งโดยกราฟ PDF of signal ที่อยู่ทางด้านซ้าย จะปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยสอดคล้องกับค่า min MSE ส่วนกราฟ MSE ที่อยู่ทางด้านขวา จะเห็นค่า MSE of Signal จะค่อยๆลดลงจนใกล้เคียงกับค่า min MSE และใน

Listbox หรือช่องแสดงผลการรัน โปรแกรม ได้แสดงผลการรัน โปรแกรมตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบสุดท้าย คือรอบที่ 6 โดยแต่ละรอบได้บอก ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ และค่า MSE โดยจะเห็นว่ารอบที่ 14 นี้ มีตำแหน่งระดับการควอนไทซ์อยู่ที่ 1.22, 2.76, 4.34, 6.03, 9.70, 10.10, 12.96, และ 17.49 มีค่าMSE เท่ากับ 0.28026 ซึ่งลดลงจากรอบที่ 1 โดยรอบที่ 1 ก็คือรอบที่เราได้ป้อนค่าไว้ในส่วนของ INPUT นั่นเองโดยค่า MSE ในรอบที่ 1 เท่ากับ 0.36791 จะเห็นว่า ได้ค่า MSE น้อยลงกว่ารอบที่ 1 และได้ตำแหน่งระดับการควอนไทซ์ที่เหมาะสมกว่า

เมื่อทราบค่า MSE ต่ำสุดแล้ว สามารถหาค่า SNR ของ PDF นี้ได้จากสมการที่ (2.1), (2.3) และ (2.4) ดังนี้

$$P_{signal} = \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^2 x^3 e^{-1/2x} dx = 24 \text{ watts} \quad (4.15)$$

$$P_{noise} = \sigma_q^2 = 0.28026 \text{ watts} \quad (4.16)$$

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{24}{0.28026} = 85.6348 \quad (4.17)$$

$$\therefore SNR_{dB} = 10 \log_{10}(85.6348) = 19.33 \text{ dB} \quad (4.18)$$

ดังนั้นจะได้ SNR_{dB} ที่มากที่สุดของ PDF ของสัญญาณนี้ เท่ากับ 19.33dB

ดังนั้นจากผลการดำเนิน โครงการนี้ไม่ว่าจะเลือกการควอนไทซ์แบบ uniform หรือ non-uniform โปรแกรมสามารถปรับตำแหน่งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ และได้ค่าMSE ที่ลดลงจากเดิมตามPDFของสัญญาณนั้นๆ

ในบทที่ 4 นี้ ได้แสดง Graphical User Interfaces ที่ใช้แสดงผลของการควอนไทซ์สัญญาณ โดยใช้หลักการของ Lloyd-Max เพื่อให้ได้มาซึ่งค่า MSE ที่น้อยที่สุด

ในบทต่อไปจะเป็นการสรุปผลการดำเนิน โครงการ และปัญหาที่พบขณะทำโครงการ