

การประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันที่ใช้พารามิเตอร์
ร่วมกันพร้อม ๆ กัน

SIMULTANEOUS FUNCTION APPROXIMATION
WITH COMMON PARAMETERS

โมนาย ไกรฤกษ์

MONAI KRAIRIKSH



อาจารย์ที่ปรึกษา

วิวัฒน์ ภิรานนท์ D.ENG.

ADVISOR

WIWAT KIRANON D.ENG.

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๒๖

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

แบบฟอร์มการให้คะแนนการสอบวิทยานิพนธ์

สำหรับนักศึกษาระดับมหาบัณฑิต

ชื่อนักศึกษา นายโมไนย ไกรฤกษ์

เลขประจำตัว ๒๔.๐๐๒๔

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันที่ไรพารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน

ชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมการสอบ	ลายมือชื่อ	ผลการสอบ
ดร. ศรีศักดิ์ จามรมาน		ผ่าน
ดร. ไพรัช รัชพงษ์		ผ่าน
ดร. พัลลภ เหลาเจริญ		ผ่าน
ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์		ผ่าน
รศ. วิพันธ์ ปรีชาพานิช		ผ่าน

วัน - เดือน - ปี ที่สอบ ...๒๒... กุมภาพันธ์ ...๒๕๖๓... เวลา ๑๐:๐๐ น. สถานที่ ห้อง A-๓๐๔


(ดร. พัลลภ เหลาเจริญ)
ลงนามแทน
คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา

บทคัดย่อ		II
Abstract		III
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ความเป็นมาและวัตถุประสงค์	4
บทที่ 3	คำจำกัดความและสัญลักษณ์	7
บทที่ 4	ฟังก์ชันประเมินผล	9
บทที่ 5	การวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องของวิธีที่มีอยู่เดิม	12
บทที่ 6	ทิศทางของการชดเชยพารามิเตอร์	20
บทที่ 7	การหาทิศทางการชดเชยพารามิเตอร์	22
บทที่ 8	การหาขนาดเวกเตอร์ที่จะใช้ทำการชดเชย	26
บทที่ 9	ขอบเขตการประมาณฟังก์ชัน	30
บทที่ 10	การทดลอง	33
บทที่ 11	สรุปและวิจารณ์	63
กิตติกรรมประกาศ		66
เอกสารอ้างอิง		67
ภาคผนวก		69



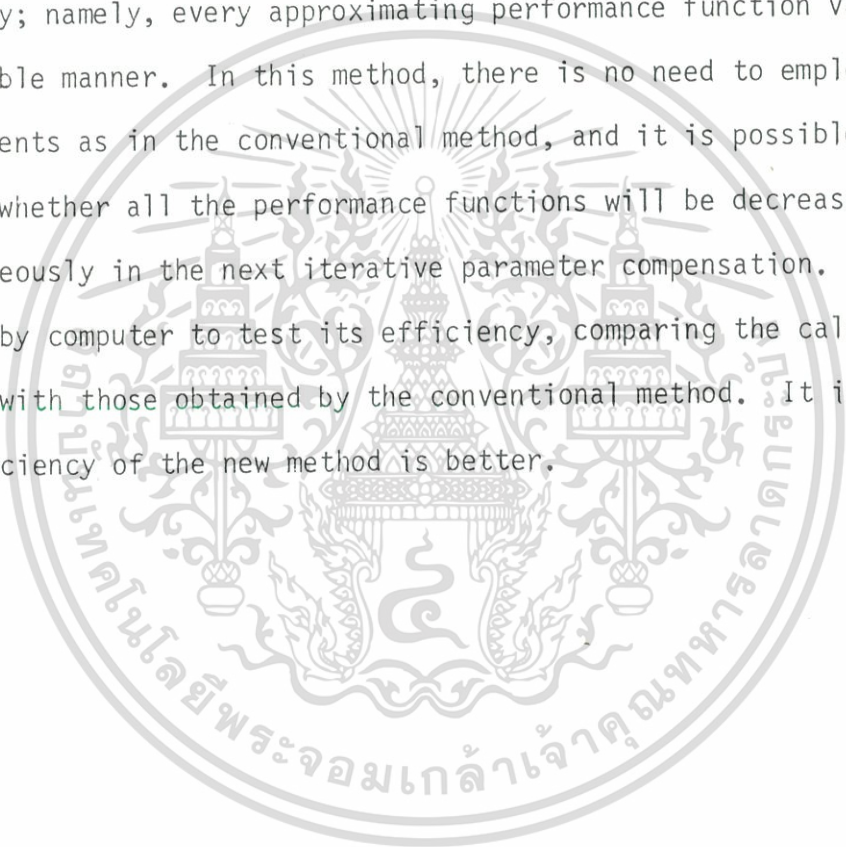
บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีใหม่สำหรับใช้ในการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันที่มีพารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน วิธีการนี้ได้อาศัยการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการที่ช่วยให้สามารถหาทิศทางร่วมของเวกเตอร์ของค่าที่จะทำการลด เซตพารามิเตอร์ เพื่อที่จะทำให้ฟังก์ชันประเมิณผลทุกฟังก์ชันมีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน ในขบวนการดังกล่าวการลดค่าลงของฟังก์ชันประเมิณผลจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องคำนึงถึงสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ และทำให้สามารถทราบได้ว่าค่าของฟังก์ชันประเมิณผลเหล่านั้นจะสามารถถูกทำให้ลดลงอย่างพร้อม ๆ กันอีกได้หรือไม่ ได้อย่างถูกต้องอีกด้วย ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อใช้ทดสอบถึงประสิทธิภาพของขบวนการที่ได้คิดค้นขึ้นมาใหม่นี้ และได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีที่ใช้อยู่เดิม ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของวิธีการใหม่นี้อย่างเด่นชัดจนเป็นที่น่าพอใจ



Abstract

This thesis presents a new method of approximating simultaneously several functions with common parameters. Linear Programming is used to determine a common unit vector for parameter compensation. Using this unit vector, all approximating performance functions decrease simultaneously; namely, every approximating performance function value decreases in a stable manner. In this method, there is no need to employ weighting coefficients as in the conventional method, and it is possible to know exactly whether all the performance functions will be decreased simultaneously in the next iterative parameter compensation. The algorithm was run by computer to test its efficiency, comparing the calculated results with those obtained by the conventional method. It is shown that the efficiency of the new method is better.



บทที่ 1

บทนำ

การประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน (Simultaneous Function Approximation) โดยทั่วไปจะรวมฟังก์ชันประเมิณผล (Performance Function) เข้าด้วยกันเป็นฟังก์ชันเดียวโดยใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ (Weighting Coefficient) เป็นตัวปรับให้ค่าของแต่ละฟังก์ชันประเมิณผลอยู่ในระดับเดียวกัน จากนั้นจึงทำการประมาณฟังก์ชันโดยใช้ฟังก์ชันประเมิณผลรวมนี้ เป็นตัวตัดสินใจ

จากวิธีการดังกล่าวพบว่า มีข้อบกพร่องซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

1. ไม่มีหลักการที่แน่นอนในการกำหนดสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ว่าทำเช่นใด จึงจะได้ค่าที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถแน่ใจได้ว่าการประมาณฟังก์ชันนั้นให้ประสิทธิภาพที่ดี
2. ในขณะที่ฟังก์ชันประเมิณผลรวมมีค่าลดลง ไม่มีหลักประกันว่าฟังก์ชันประเมิณผลทุกฟังก์ชันจะลดลงพร้อม ๆ กัน ฟังก์ชันประเมิณผลหนึ่งอาจมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ฟังก์ชันประเมิณผลอื่น ๆ มีค่าลดลงได้ หรือกล่าวได้ว่าการลดค่าลงของแต่ละฟังก์ชันประเมิณผลนั้นขาดเสถียรภาพ (Stability) ที่ดีไป

เมื่อเสถียรภาพของการลดค่าลงของฟังก์ชันประเมิณผลของการประมาณฟังก์ชัน เสียไป เช่นนี้ย่อมทำให้ เวลาของการคำนวณยาวนานขึ้น เป็นเหตุให้สิ้นเปลืองมากขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้กล่าวถึงวิธีประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน โดยจะปรับค่าพารามิเตอร์ร่วมของฟังก์ชันประเมิณผลทุก ๆ ฟังก์ชันให้แต่ละฟังก์ชันประเมิณผลลดค่าลงพร้อม ๆ กัน เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพที่ดีของการลดค่าของทุกฟังก์ชันประเมิณผล วิธีการทำเช่นนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์แบบ เดิม และทั้งยังมีหลักประกันว่าทุก ๆ ฟังก์ชันประเมิณผลจะลดค่าพร้อม ๆ กันอีกด้วย

ในวิธีดังกล่าวนี้ได้ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณหาทิศทางของการขาดเซพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมิณผลลดลงพร้อม ๆ กันร่วมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดผลดีดังนี้

1. สามารถประมาณฟังก์ชันได้หลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน
2. ไม่ต้องกังวลใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลยดัง เช่นวิธีการที่มีมาแต่เดิม
3. สามารถรู้ได้ว่าการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลนั้น สามารถเป็นไปได้พร้อม ๆ กันอีก

ต่อไป ได้หรือไม่อย่างแน่นอน

4. ฟังก์ชันประเมิณผลทุกฟังก์ชันมีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน ในแต่ละครั้งที่มีการขาดเซพารามิเตอร์
5. การปรับอัตราส่วนของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผล สามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลยให้กับค่า θ ที่ใช้กับเงื่อนไขแต่ละเงื่อนไขในการโปรแกรมเชิงเส้นให้แตกต่างกันออกไป

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 11 บท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหาสาระดังนี้คือ

บทที่ 2 กล่าวถึงความ เป็นมาของวิธีประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน และวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 ได้รวบรวมคำจำกัดความและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 4 กล่าวถึงฟังก์ชันประเมิณผลซึ่ง เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่คล้ายกับ เป็นตัวแทนที่ใช้สำหรับแสดงผลลัพธ์ของค่าผิดพลาดจากการประมาณฟังก์ชันที่จุดทุก ๆ จุดของตัวแปรที่ได้สุ่มค่ามา และในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ฟังก์ชันนี้เป็นตัวช่วยการตัดสินใจผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชัน

บทที่ 5 ในบทนี้ได้กล่าว เกี่ยวกับการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องของวิธีประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันแบบเดิมที่มีมาก่อนแล้ว ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้พบว่า การใช้ทิศทางแกรเดียนท์ (Gradient) ของฟังก์ชันประเมิณผลร่วม เป็นทิศทางของ เวกเตอร์เพื่อทำการขาดเซพารามิเตอร์นั้น ถ้าใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลยที่ไม่เหมาะสม จะทำให้การลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการประมาณฟังก์ชันนั้นขาดเสถียรภาพไป

บทที่ 6 กล่าวถึงทิศทางของการชดเชยค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมิณผลมีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน

บทที่ 7 แสดงหลักการที่เสนอใหม่ ซึ่งจะหาทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ (Unit Vector) d ซึ่งเป็นทิศทางของเวกเตอร์ที่ใช้ทำการชดเชยค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมิณผลทั้งหลายที่ใช้ยู่มีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน โดยอาศัยการโปรแกรมเชิงเส้นเข้ามาช่วย

บทที่ 8 กล่าวถึงการหาขนาดของเวกเตอร์ (Step size) ที่เหมาะสมเพื่อจะใช้ทำการชดเชยค่าพารามิเตอร์ในการประมาณฟังก์ชัน

บทที่ 9 ได้อธิบายถึงการรวบรวมหลักการที่เสนอใหม่นี้เข้าเป็นขั้นตอนการสำหรับประมาณฟังก์ชันแบบอิตเอร์เรทีฟ (Iterative)

บทที่ 10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีการใหม่ 4 การทดลอง โดยใน 2 การทดลองแรกเป็นการเปรียบเทียบเสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลกับวิธีการที่มีมาแต่เดิม ส่วนในตัวอย่าง 2 การทดลองหลังเป็นการนำวิธีการที่เสนอใหม่นี้ไปประยุกต์ใช้ช่วยในการออกแบบวงจรหรือระบบต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวงจรหรือระบบดังกล่าวให้ดีขึ้น โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นจากวิทยานิพนธ์อื่น ๆ มาทดลองปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไป

และในบทที่ 11 เป็นการสรุปผลของการวิจัยที่ได้ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สำหรับการอ้างอิง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้จัดรวบรวมไว้ในภาคผนวก

บทที่ 2

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์

เป็นที่ทราบกันดีว่าในการออกแบบวงจรไฟฟ้านั้น ถ้าคุณสมบัติของวงจรถูกกำหนดไว้ในลักษณะของกราฟหรือตารางหรือฟังก์ชันตามใจชอบแล้ว ขั้นตอนของการออกแบบวงจรจะต้องดัดแปลงข้อมูลที่กำหนดให้มานั้นให้เหมาะสมที่จะสร้างวงจรขึ้นเสียก่อน [1-3] ยกตัวอย่างเช่น ถ้าจะสร้างวงจรหนึ่งด้วยอุปกรณ์แบบลัมพ์ (Lump Elements) จำนวนจำกัดเพื่อหิมิทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ที่มีขนาดตามฟังก์ชันที่กำหนดให้ $|f(S)|_{S=j\omega}$ สิ่งหนึ่งที่นักออกแบบทราบกันดีก็คือ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรที่ใช้ อุปกรณ์แบบลัมพ์จำนวนจำกัดนั้น จะต้องมิลักษณะ เป็นเรชันแนลโพลีโนเมียลฟังก์ชัน (Rational Polynomial Function) ของความถี่ผสม S เท่านั้น [1,3] ดังนั้นถ้าสมมุติว่า $f(S)$ ไม่ใช่ เรชันแนลโพลีโนเมียลฟังก์ชัน การจะสร้างวงจรด้วยอุปกรณ์แบบลัมพ์จำนวนจำกัดให้ได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันเท่ากับ $f(S)$ พอดีนั้นส่วนมากย่อมเป็นไปไม่ได้ จะสร้างได้ก็เพียงแต่วงจรที่มีคุณสมบัติของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันใกล้เคียงกับ $f(S)$ ได้เท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปก็ทำกันอยู่เช่นนั้น นั่นคือ จะต้องหาเรชันแนลโพลีโนเมียลฟังก์ชัน $T(S)$ ที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุดกับ $|f(S)|_{S=j\omega}$ เท่าที่จะยินยอมได้เสียก่อน แล้วจึงดำเนินการสร้างวงจรต่อไปได้ กล่าวคือจะต้องมีการประมาณฟังก์ชันเสียก่อน ซึ่งการประมาณฟังก์ชัน ในที่นี้นั้นก็หมายถึงการปรับหรือชดเชยค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันซึ่งถูกเลือกขึ้นมาเพื่อให้ได้ค่าของฟังก์ชันนั้นใกล้เคียงกับค่าของฟังก์ชันที่ได้ถูกกำหนดมาให้ก่อนแล้วมากที่สุดตลอดย่าน (Interval) ที่ต้องการภายในโดเมน (Domain) ของตัวแปรอิสระของฟังก์ชันนั้น

ตามที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า การประมาณฟังก์ชันมีบทบาทสำคัญในการออกแบบวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ไม่ใช่แค่เพียงสำหรับการออกแบบวงจรไฟฟ้าอย่างเดียวเท่านั้น การประมาณฟังก์ชันยังมีบทบาทสำคัญในการออกแบบระบบต่าง ๆ ทั่วไปด้วย การประมาณฟังก์ชันนั้นส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ $nonlinear\ simultaneous\ equation$ ซึ่งปกติมักจะใช้วิธีอีทเธอร์เรทฟ ซึ่งเป็นวิธีการปรับค่า

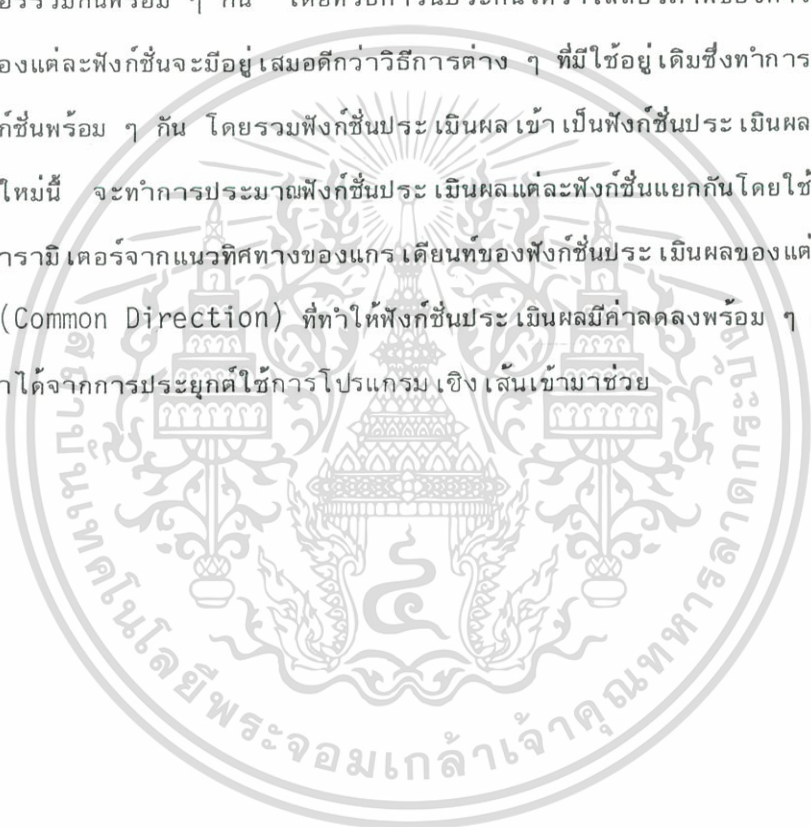
พารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่ถูกเลือกขึ้นมาทีละน้อย ๆ เพื่อให้ฟังก์ชันนั้นมีค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันที่ถูกกำหนดมาให้ยิ่งขึ้นและยิ่งขึ้น เป็นวิธีแก้ปัญห [4]

วิธีประมาณฟังก์ชันนั้นเดิมมีด้วยกันหลายวิธี เช่นวิธีสตีป สเตดดิ เซนต์ (Steepest Descent) วิธีของนิวตัน (newton) ฯลฯ [5-8, 10] ซึ่งแต่ละวิธีดังกล่าว เหล่านี้ล้วนเป็นวิธีที่ใช้สำหรับประมาณฟังก์ชันซึ่งมีฟังก์ชันประเมิณผล เพียงฟังก์ชันเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันความเจริญในการพัฒนาระบบหรือวงจรต่าง ๆ ก้าวหน้าไปมาก การออกแบบระบบหรือวงจรต่าง ๆ ในปัจจุบันต้องการความละเอียดแน่นอนมาก ดังนั้นคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการของวงจรหรือระบบ เหล่านี้จึงมักจะมีมากเกินกว่าอย่างเดียว ยกตัวอย่างเช่น ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ อาจจะต้องออกแบบให้วงจรสามารถตอบสนองทั้งทางด้านขนาดและทางด้านเฟสตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานได้ตามต้องการพร้อม ๆ กัน ซึ่งนอกเหนือจากข้อกำหนดทั้งสองนี้แล้ว ในปัจจุบันงานบางอย่างยังต้องคำนึงถึงการตอบสนองความต้องการทางด้านเวลาอันได้แก่อิมพัลส์ เรสพอนส์ (Impulse Response) หรือสเตป เรสพอนส์ (Step Response) ให้เป็นตามต้องการพร้อมกันไปด้วยอีก เช่นนี้เป็นต้น เมื่อเป็นเช่นนี้จึงจำเป็นต้องหาวิธีประมาณฟังก์ชันที่สามารถประมาณฟังก์ชันที่มีพารามิเตอร์ร่วมกันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันขึ้นอีกด้วย

ในกรณีที่ต้องการจะประมาณฟังก์ชันซึ่งมีพารามิเตอร์ร่วมกันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน วิธีการที่ใช้อยู่เดิมโดยทั่วไปจะทำการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันซึ่งมีพารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน โดยรวมฟังก์ชันประเมิณผลของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน เข้าเป็นฟังก์ชันประเมิณผลร่วมฟังก์ชันเดียว แล้วทำการปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ฟังก์ชันประเมิณผลร่วมนี้มีค่าน้อยที่สุด เหมือนกับการประมาณฟังก์ชัน ฟังก์ชันเดียวทั่วไป เช่น เดิม [8] ซึ่งการกระทำเช่นนี้มีข้อบกพร่องบางประการเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในการรวมฟังก์ชันประเมิณผลนี้มักจะใส่ค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์เข้าไปใช้ร่วมกับบางฟังก์ชันประเมิณผลโดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะปรับให้ทุก ๆ ฟังก์ชันมีอัตราการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลมีค่าประมาณเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการ เลือกค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์นั้นมักจะไม่ได้ผลตามที่หวังไว้เท่าไรนักและจากวิธีรวมฟังก์ชันประเมิณผล เพื่อการประมาณฟังก์ชัน มักจะพบว่า การลดลงของค่าฟังก์ชันประเมิณผลของแต่ละฟังก์ชัน เป็นไปอย่างขาดเสถียรภาพ [9] ทำให้การคำนวณต้องสิ้นเปลืองเวลาได้

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าถ้าเราสามารถทำการประมาดฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันโดยแยกฟังก์ชันประ เ مينผลของแต่ละฟังก์ชันออกอิสระจากกัน และทำให้ค่าของฟังก์ชันประ เ مينผลเหล่านั้นลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะเป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรได้รับการพัฒนาต่อไป เพราะจะทำให้สะดวกในการจัดการประมาดฟังก์ชันและอาจสามารถลด เวลาในการคำนวณได้อีกด้วย

ฉะนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะ เสนอหลักการใหม่เพื่อใช้สำหรับประมาดฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันที่มีพารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน โดยที่วิธีการนี้ประกันได้ว่าประสิทธิภาพของการลดลงของฟังก์ชันประ เ مينผลของแต่ละฟังก์ชันจะมีอยู่ เสมอดีกว่าวิธีการต่าง ๆ ที่มีใช้อยู่ เดิมซึ่งทำการประมาดฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน โดยรวมฟังก์ชันประ เ مينผล เข้า เป็นฟังก์ชันประ เ مينผลร่วมฟังก์ชันเดียว ในวิธีที่ เสนอใหม่นี้ จะทำการประมาดฟังก์ชันประ เ مينผลแต่ละฟังก์ชันแยกกันโดยใช้วิธีพิจารณาทิศทาง การชด เชยพารามิเตอร์จากแนวทิศทางของแกร เดียนท์ของฟังก์ชันประ เ مينผลของแต่ละฟังก์ชัน แล้วหาทิศทางร่วม (Common Direction) ที่ทำให้ฟังก์ชันประ เ مينผลมีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน ซึ่งทิศทางดังกล่าวจะหาได้จากการประยุกต์ใช้การโปรแกรม เ ชิง เส้นเข้ามาช่วย



บทที่ 3

คำจำกัดความและสัญลักษณ์

ในบทนี้จะได้รวบรวมคำจำกัดความและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในบทต่อ ๆ ไป

ω_j : ตัวแปรอิสระตัวที่ j ($j = 1, 2, \dots, l$)

l : จำนวนฟังก์ชันที่จะนำมาทำการประมาณทั้งหมด

X : $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$: พารามิเตอร์เวกเตอร์ ; n คือ จำนวนพารามิเตอร์,
T หมายถึง Transpose

$D_j(\omega_j)$: ฟังก์ชันที่กำหนดให้ฟังก์ชันที่ j ($j = 1, 2, \dots, l$)

$R_j(X, \omega_j)$: ฟังก์ชันที่นำมาประมาณ $D_j(\omega_j)$ ($j = 1, 2, \dots, l$)

$e_j(\omega_j)$: ผลต่างระหว่างฟังก์ชันที่กำหนดให้กับฟังก์ชันที่นำมาประมาณค่า
($j = 1, 2, \dots, l$)

$Q_j(X, \omega_j)$: ฟังก์ชันประเมินผลซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่องและสามารถหาอนุพันธ์ได้
(Differentiable Continuous Function) ที่สร้างขึ้นจาก $e_j(\omega_j)$ ($j = 1, 2, \dots, l$)

$Q(X)$: ฟังก์ชันประเมินผลรวม

$[a_j, b_j]$: ช่วงของตัวแปรอิสระ ω_j ที่ใช้ทำการประมาณฟังก์ชัน ($j = 1, 2, \dots, l$)

$d \in R^n$: หน่วยเวกเตอร์ซึ่งใช้สำหรับการชดเชยแก่ X

α : เลขบวกค่าน้อย ๆ ที่ใช้ปรับขนาดของ d เพื่อให้เหมาะสมแก่การชดเชย
แก่ X

$\|\nabla Q(X, \omega_j)\|$: ขนาดของเวกเตอร์ $\nabla Q(X, \omega_j)$ ($i = 1, 2, \dots, m$)

$||$: ค่าขนาดของปริมาณสเกลาร์ (Scalar)

$-k$: ดัชนีซึ่งแสดงถึงจำนวนครั้งของการชดเชยพารามิเตอร์

m_j : จำนวนการสุ่มค่าตัวแปรอิสระ ω_j ในช่วง $[a_j, b_j]$

W_i : สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลยตัวที่ i

ω : ตัวแปรความถี่ (เรเดียน)

- t : ตัวแปรเวลา (วินาที)
- θ : ตัวแปรของมุมที่ทำการสังเกต
- d : ตัวแปรของระยะห่างระหว่างสายอากาศ
- u : ตัวแปรของมุมที่ทำการสังเกตที่ศูนย์กลาง



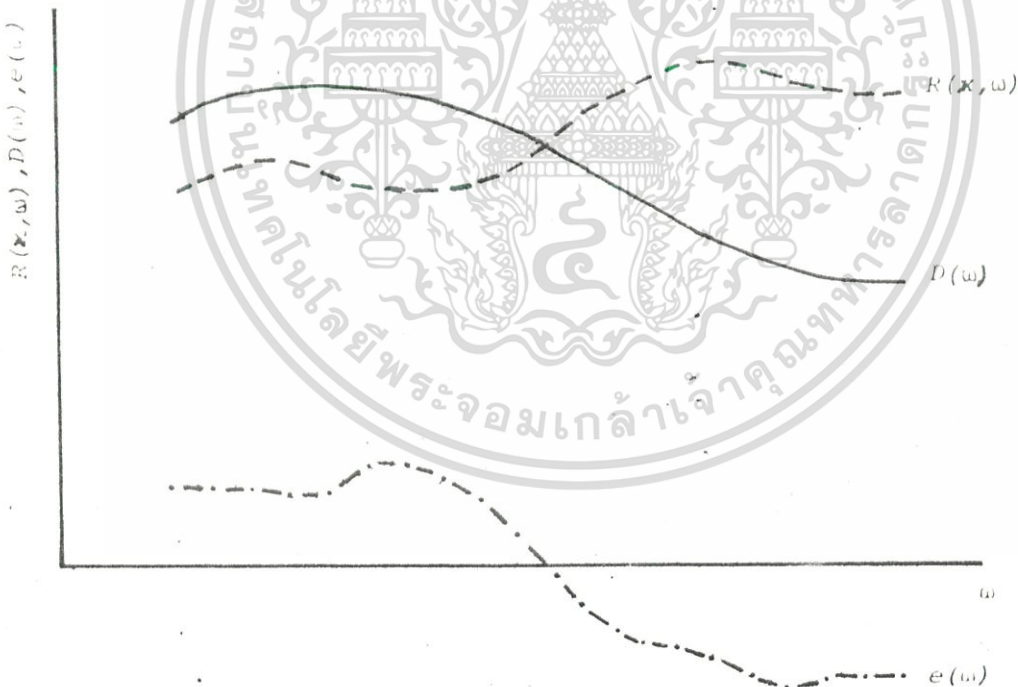
บทที่ 4

ฟังก์ชันประเมิณผล

ในการประมาณฟังก์ชัน $D_j(\omega_j)$ ที่ถูกกำหนดให้ดังเช่นแสดงในรูปที่ 4.1 (กราฟเส้นทึบ) โดยฟังก์ชัน $R_j(X, \omega_j)$ (กราฟเส้นประ) ถ้า $R_j(X, \omega_j)$ ประมาณแทน $D_j(\omega_j)$ ได้ดีแล้ว ค่าผลต่างของฟังก์ชันทั้งสอง (กราฟ $e_j(\omega_j)$) นี้ควรมีค่าน้อย กล่าวคือ

$$e_j(\omega_j) = D_j(\omega_j) - R_j(X, \omega_j) \quad (4.1)$$

ควรมีค่าให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ที่ตลอดทุกค่าของ ω_j จึงถือได้ว่าการประมาณฟังก์ชันนั้นได้ผลดี แต่อย่างไรก็ตามการที่จะเฝ้าคอยตรวจดูค่าผลต่าง $e_j(\omega_j)$ ที่ทุกค่าของ ω_j นั้น จะเห็นได้ว่าเป็นเรื่อง ที่เสียเวลามากและทำได้ยาก



รูปที่ 4.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน $R(X, \omega), D(\omega), e(\omega)$

- $D(\omega)$
- - - - - $R(X, \omega)$
- · - · - $e(\omega)$

709237

ดังนั้น เพื่อที่จะลดข้อเสียลง จึงได้คิดให้มีฟังก์ชันฟังก์ชันหนึ่งที่จะสรุปรวมบอกถึงผลของการประมาณฟังก์ชันที่กำลังทำอยู่ ปกติฟังก์ชันดังกล่าวนี้จะเป็นฟังก์ชันของค่าของ $e_j(\omega_j)$ ที่ทุกค่าของ ω และเพราะค่า $R_j(X, \omega_j)$ ซึ่งมีส่วนประกอบขึ้นเป็น $e_j(\omega_j)$ นั้นยังมี X เป็นพารามิเตอร์ร่วมอยู่ด้วย ดังนั้นฟังก์ชันที่จะสรุปบอกผลของการประมาณฟังก์ชันดังกล่าวนี้จึงต้องเป็นฟังก์ชันที่มี X เป็นพารามิเตอร์อยู่ด้วย ในที่นี้ได้กำหนดใช้สัญลักษณ์ แทนฟังก์ชันนี้เป็น $Q_j(X, \omega_j)$ เพราะ $Q_j(X, \omega_j)$ นี้ได้ถูกเป็นตัวแสดงว่าผลของการประมาณฟังก์ชัน (คือการประมาณ $D_j(\omega_j)$) ด้วย $R(X, \omega_j)$ นั้นดีมากน้อยเพียงใด $Q_j(X, \omega_j)$ นี้จึงได้ชื่อว่าฟังก์ชันประเมินผล (Performance Function หรือ Evaluation Function หรือ Error Criterion หรือ Optimality Index) กล่าวใหม่ได้ว่าเป็นการประมาณฟังก์ชันใด ๆ จะใช้ฟังก์ชันประเมินผลเป็นตัวแสดงผลว่าฟังก์ชันที่ใช้นำมาประมาณนั้นมีความใกล้เคียงกับฟังก์ชันที่เราต้องการมากน้อยเพียงใด

ปกติแล้วฟังก์ชันประเมินผลมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งการที่จะเลือกใช้แบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ใช้เอง โดยปกติจะเลือกฟังก์ชันประเมินผลที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งฟังก์ชันประเมินผลที่พบอยู่บ่อย ๆ ได้แก่ [21]

$$I \quad Q_j(X, \omega_j) = \int_a^b |D_j(\omega_j) - R_j(X, \omega_j)| d\omega_j \quad (4.2)$$

$$II \quad Q_j(X, \omega_j) = \int_a^b [D_j(\omega_j) - R_j(X, \omega_j)]^P d\omega_j$$

; P เป็นเลขคู่จำนวนเต็ม (4.3)

$$III \quad Q_j(X, \omega_j) = \min_X \max_\omega [D_j(\omega_j) - R_j(X, \omega_j)] \quad (4.4)$$

$$IV \quad Q_j(X, \omega_j) = \int_a^b \exp [R_j(X, \omega_j) - D_j(\omega_j)] d\omega_j \quad (4.5)$$

ในทางปฏิบัตินิยมใช้กรณี II มาก โดยเฉพาะเมื่อ $P = 2$ เพราะง่ายสำหรับการปฏิบัติต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ และเมื่อ P มีค่าเข้าลู่อนันต์ กรณี II จะมีลิมิต (Limit) เข้าสู่กรณี III ซึ่งเป็นกรณีที่มีค่าช่วงการกระเพื่อม (Ripple) ของความผิดพลาดสม่ำเสมอตลอดช่วงของ ω_j ที่สนใจ [6, 8] ส่วนในกรณี IV นิยมใช้ในกรณีที่ต้องการประมาณฟังก์ชันให้ฟังก์ชันประเมินผลมีค่าต่ำกว่าระดับที่กำหนดให้ระดับหนึ่ง (Threshold Level) ในกรณีนี้ส่วนใดของฟังก์ชันที่ใช้นำมาประมาณที่มีค่าสูงกว่าระดับที่กำหนดให้ก็จะส่งอิทธิพลต่อการประมาณฟังก์ชันมาก ในขณะที่ส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับที่กำหนดให้ นั้นจะมีอิทธิพลต่อการประมาณฟังก์ชันน้อย

เพราะว่าการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณการอินทิเกรต (Integrate) นั้นทำได้ลำบาก ดังนั้นปกติจึงมักจะสุ่มเอาตัวอย่างค่า discrete ของ $Q(X, \omega)$ ที่ค่า ω ต่าง ๆ ภายในช่วง $[a_j, b_j]$ มาตามความเหมาะสม แล้วทำการรวบรวมกันแทนการอินทิเกรต ยกตัวอย่างเช่นถ้าสมมุติจุดสุ่มตัวอย่าง คือ จุด ω_{ji} ($i = 1, 2, \dots, m_j$) ฟังก์ชันประเมินผลข้างต้นจะถูกแทนด้วยค่าตามสมการต่อไปนี้ตามลำดับคือ

$$I \quad Q_j(X, \omega_j) = \sum_{i=1}^{m_j} |D_j(\omega_{ji}) - R_j(X, \omega_{ji})| \quad (4.6)$$

$$II \quad Q_j(X, \omega_j) = \sum_{i=1}^{m_j} [D_j(\omega_{ji}) - R_j(X, \omega_{ji})]^P \quad (4.7)$$

$$III \quad Q_j(X, \omega_j) = \min_X \max_{\omega_{ji}} [D_j(\omega_{ji}) - R_j(X, \omega_{ji})] \quad (4.8)$$

$$IV \quad Q_j(X, \omega_j) = \sum_{i=1}^{m_j} \exp [R_j(X, \omega_{ji}) - D_j(\omega_{ji})] \quad (4.9)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ฟังก์ชันประเมินผลที่พิจารณาใช้เป็นหลักคือ รูปแบบของฟังก์ชันประเมินผลตามสมการ (4.7) ทั้งนี้เพราะสะดวกแก่การคำนวณดังได้กล่าวมาแล้ว

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องของวิธีที่มีอยู่เดิม

ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่า ในการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันที่ใช้อยู่เดิมนั้น มักจะใช้ผลรวมฟังก์ชันประ เนิผลที่ถูกถ่วงดุลย์ประกอบขึ้น เป็นฟังก์ชันประ เนิผล กล่าวคือจะสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใหม่ฟังก์ชันหนึ่งอยู่ในลักษณะของสมการ (5.1) คือ

$$Q(X) = Q_1(X, \omega_1) + W_1 Q_2(X, \omega_2) + \dots + W_{j-1} Q_j(X, \omega_j) \quad (5.1)$$

แล้วทำการประมาณฟังก์ชันทุก ๆ ฟังก์ชันนี้พร้อม ๆ กันโดยอาศัยทิศทางแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประ เนิผล $Q(X)$ เพื่อใช้สำหรับการช่วยตัดสินใจค่าที่จะนำมาชด เชยค่าพารามิเตอร์ X ดัง เช่นในวิธีประมาณฟังก์ชันซึ่งใช้ฟังก์ชันประ เนิผลเพียงฟังก์ชัน เดียวทั่ว ๆ ไป [5, 8, 10]

เมื่อพิจารณาโดยผิวเผินจะ เห็นว่าการใช้วิธีประมาณฟังก์ชันที่มีอยู่เดิม เช่น วิธีการสตีป เปสดีติเซนต์ [6, 8, 10] อัน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอยู่แล้วมาประมาณฟังก์ชัน $Q(X)$ เพียงฟังก์ชัน เดียวนี้ย่อมจะได้ผลลัพธ์ที่ทำให้ค่า $Q(X)$ มีค่าลดลงทุกครั้งของการชด เชยค่าพารามิเตอร์ อันจะเป็นเหตุที่ทำให้คิดไปว่าการทำเช่นนี้จะ เป็นวิธีการทำที่มีประสิทธิภาพเหมือนกับการประมาณฟังก์ชัน เพียงฟังก์ชัน เดียวทุกประการ แต่ความจริงมิได้ เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะพบว่าการใช้วิธีดังกล่าวมีข้อบกพร่องที่สำคัญ ๆ ดังนี้ คือ

1. ทิศทางแกร เดียนท์ของแต่ละฟังก์ชันประ เนิผลที่แต่ละตำแหน่งของค่าพารามิเตอร์ของการประมาณฟังก์ชันมีทิศทางแตกต่างกันไป ซึ่งในการชด เชยค่าพารามิเตอร์ควรจะต้องพิจารณาทิศทางของการชด เชยจากทิศทางแกร เดียนท์เหล่านี้ร่วมกัน ดังนั้นในการชด เชยค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่ใช้ทิศทางแกร เดียนท์ของฟังก์ชันประ เนิผลร่วม เพียงอย่าง เดียวอาจไม่เหมาะสมและก็จะ เป็นเหตุทำให้ค่าของฟังก์ชันประ เนิผลย่อยบางฟังก์ชันนั้นมีค่าสูงขึ้นได้

2. ไม่มีหลัก เกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์แก่ฟังก์ชันประ เนิผลย่อย ๆ ที่จะนำมาประกอบ เป็นฟังก์ชันประ เนิผลร่วม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์นี้ก็มีอิทธิพลแก่การลดค่าลงของ

ฟังก์ชันประ เมีนผลในการประมาณฟังก์ชันด้วยอย่างมาก

ในการวิ เเคราะห์ข้อบกพร่องดังกล่าวข้างต้น เพื่อ่ายต่อการเขียนในรูปของสมการ จะขอ ใช้สัญลัษณ์ $Q_j (X)$ แทน $Q_j (X, \omega_j)$ และจะขอยกตัวอย่างปัญหาการประมาณฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชัน พร้อม ๆ กัน ด้วยวิธีสตีป เบสต์ดิ เซนที่ขึ้นมาเป็นแบบอย่างในถารพิจารณาวิ เเคราะห์ข้อบกพร่องดังกล่าว แล้ว ในกรณีนี้ฟังก์ชันประ เมีนผลร่วมที่นำมาใช้ในการชดเชยพารามิ เเตอร์จะเป็นดังนี้ คือ

$$Q(X) = Q_1 (X) + WQ_2 (X) \tag{5.2}$$

ในวิธีสตีป เบสต์ดิ เซนที่นั้น เมื่อทำการชดเชยค่าพารามิ เเตอร์ X^k ไปเป็นค่า X^{k+1} ค่า X^{k+1} จะหาได้ดังนี้คือ

$$X^{k+1} = X^k - \alpha^k \nabla Q(X^k) \tag{5.3}$$

[10]

เมื่อทำการชดเชยค่าพารามิ เเตอร์ไปตามสมการ (5.3) แล้วจะได้ฟังก์ชันประ เมีนผล เป็น

$$Q(X^{k+1}) = Q [X^k - \alpha^k \nabla Q(X^k)] \tag{5.4}$$

เนื่องจากปกติค่า α^k จะมีค่าน้อย ดังนั้นโดยอาศัยการกระจายอนุกรม เทย์เลอร์รอบจุด X^k [11] จะได้

$$Q(X^{k+1}) \doteq Q(X^k) - \alpha^k \|\nabla Q(X^k)\|^2 \tag{5.5}$$

เพราะว่า $\alpha^k, \|\nabla Q(X^k)\|$ มีค่าที่ไม่เป็นลบเสมอ และ $Q(X)$ เป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง ดังนั้นถ้า $\|\nabla Q(X^k)\| \neq 0$ ก็ย่อมจะได้

$$Q(X^{k+1}) < Q(X^k) \tag{5.6}$$

เสมอ

จะเห็นว่าถ้าสิ่ง เกิด เพียง เท่านั้น ผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชันนี้ เป็นไปอย่างน่าพอใจ กล่าวคือ ฟังก์ชันประ เมีนผลจะมีค่าลดลงจากเดิมทุกครั้งที่มีการชดเชยค่าพารามิ เเตอร์ แต่ถ้าเมื่อพิจารณาให้ลึกกลงไปอีก คือ พิจารณาการลดลงของ $Q_1(X)$ และ $Q_2 (X)$ ด้วย จากสมการ (5.2) จะได้ว่า

$$\nabla Q(x^k) = \nabla Q_1(x^k) + w^k \nabla Q_2(x^k) \quad (5.7)$$

และเพราะการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ของ $Q_1(x^{k+1})$ รอบจุด x^k จะได้

$$\begin{aligned} Q_1(x^{k+1}) &= Q_1(x^k - \alpha^k \nabla Q(x^k)) \\ &\doteq Q_1(x^k) - \alpha^k [\nabla Q_1(x^k)]^T [\nabla Q(x^k)] \end{aligned} \quad (5.8)$$

ดังนั้นถ้าแทนค่า $\nabla Q(x^k)$ จากสมการ (5.7) ลงในสมการ (5.8) จะได้

$$\begin{aligned} Q_1(x^{k+1}) &\doteq Q_1(x^k) - \alpha^k [\nabla Q_1(x^k)]^T [\nabla Q_1(x^k) + w^k \nabla Q_2(x^k)] \\ &= Q_1(x^k) - \alpha^k \left[\|\nabla Q_1(x^k)\|^2 + w^k \{\nabla Q_1(x^k)\}^T \{\nabla Q_2(x^k)\} \right] \end{aligned} \quad (5.9)$$

เมื่อสังเกตจากสมการที่ (5.9) พบว่า $Q_1(x^{k+1})$ อาจมีค่ามากกว่า $Q_1(x^k)$ ได้ทั้งนี้เพราะค่า $\{\nabla Q_1(x^k)\}^T \{\nabla Q_2(x^k)\}$ อาจมีค่าเป็นลบได้ สำหรับในกรณีที่ค่านี้เป็นลบ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุล w^k มีค่ามากพอสมควรแล้ว เทอมในวงเล็บใหญ่ทั้งหมดของสมการ (5.9) ก็จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่าในกรณีนี้จะพบว่า $Q_1(x^{k+1}) > Q_1(x^k)$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ของ $Q_2(x^{k+1})$ รอบจุด x^k จะได้

$$\begin{aligned} Q_2(x^{k+1}) &= Q_2(x^k - \alpha^k \nabla Q(x^k)) \\ &\doteq Q_2(x^k) - \alpha^k [\nabla Q_2(x^k)]^T [\nabla Q(x^k)] \end{aligned} \quad (5.10)$$

หลังจากแทนค่า $\nabla Q(x^k)$ จากสมการ (5.7) ลงในสมการ (5.10) แล้วจะได้

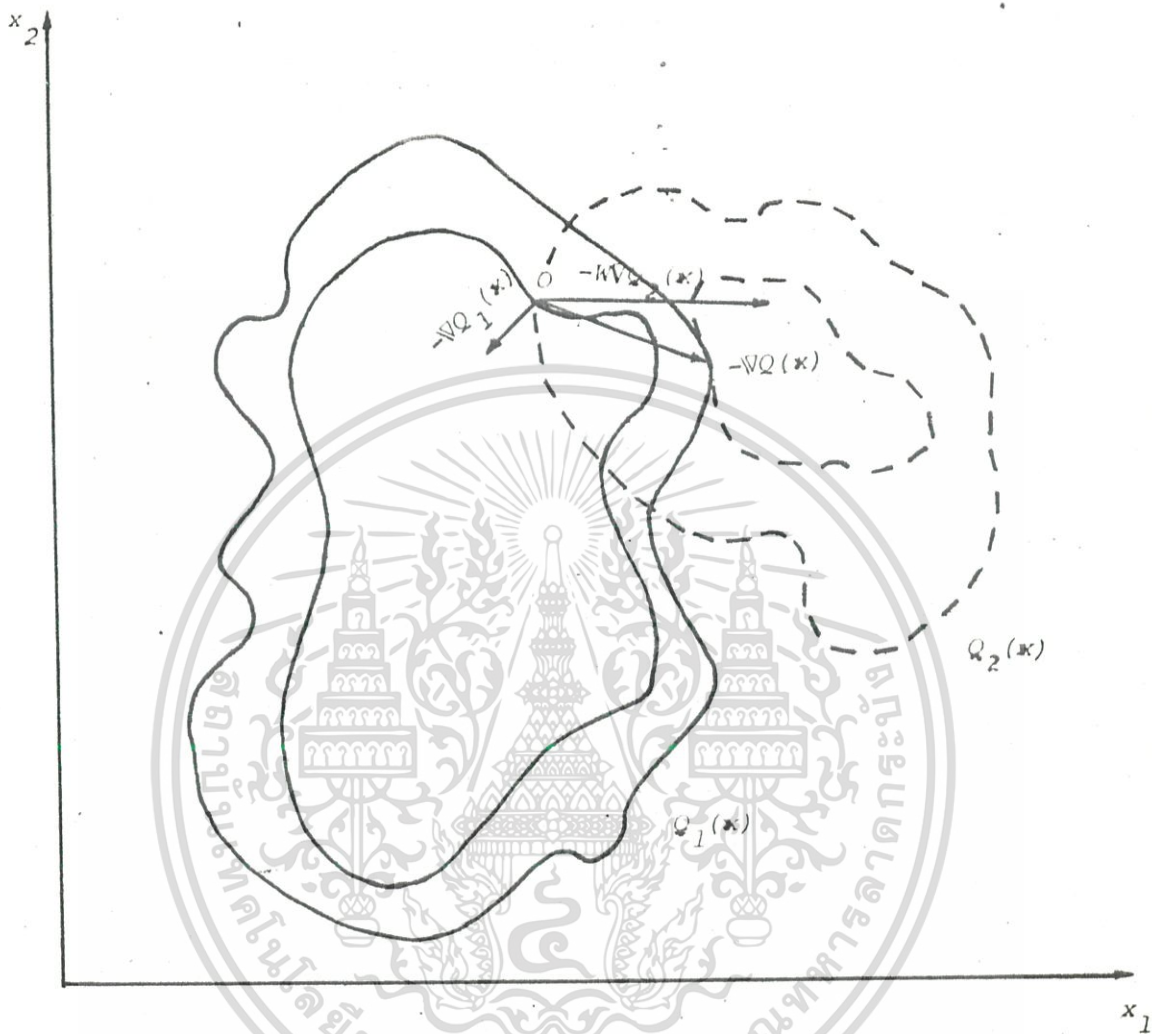
$$\begin{aligned} Q_2(x^{k+1}) &\doteq Q_2(x^k) - \alpha^k [\nabla Q_2(x^k)]^T [\nabla Q_1(x^k) + w^k \nabla Q_2(x^k)] \\ &= Q_2(x^k) - \alpha^k \left[\{\nabla Q_2(x^k)\}^T \{\nabla Q_1(x^k)\} + w^k \|\nabla Q_2(x^k)\|^2 \right] \end{aligned} \quad (5.11)$$

ตั้งได้กล่าวแล้วว่า $\{\nabla Q_2(x^k)\}^T \{\nabla Q_1(x^k)\}$ ในสมการ (5.11) อาจมีค่าเป็นลบได้ ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ w^k มีค่าน้อยพอสมควรแล้ว เทอมในวงเล็บใหญ่ของสมการ (5.11) ก็จะมีค่าเป็นลบได้เช่นกัน ซึ่งก็หมายความว่าในกรณีนี้จะได้ $Q_2(x^{k+1}) > Q_2(x^k)$

ดังนั้นจากที่อธิบายมาแล้วสามารถสรุปได้ว่า แม้ $Q(x^{k+1})$ จะมีค่าลดลงเสมอ แต่ก็ไม่จำเป็นว่า $Q_1(x^{k+1})$ และ $Q_2(x^{k+1})$ จะต้องมีการลดลงเสมอไป

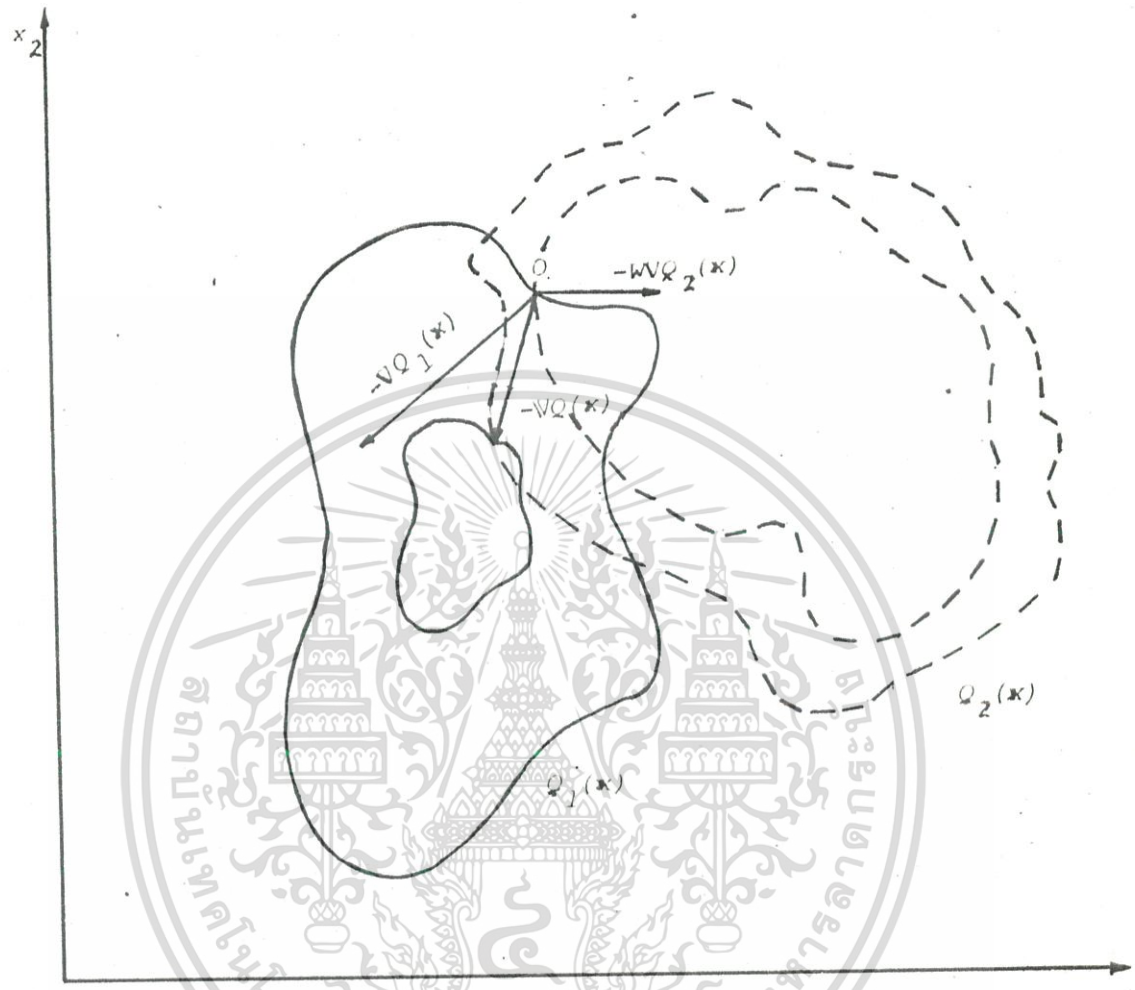
จากตัวอย่างที่แสดงในรูปสมการตั้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจเข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อใช้รูปภาพช่วยในการพิจารณา





รูปที่ 5.1 แสดงการเพิ่มค่าของ $Q_1(x)$ เมื่อทิศทางเกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผล และค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ที่ใช้ในการประมาณฟังก์ชันไม่เหมาะสม

- เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_1(x)$
- - - - - เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_2(x)$



รูปที่ 5.2 แสดงการเพิ่มค่าของ $Q_2(x)$ เมื่อทิศทางแปรเปลี่ยนของฟังก์ชันประเมิณผล

และค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลที่ใช้ในการประมาณฟังก์ชันไม่เหมาะสม

————— เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_1(x)$

- - - - - เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_2(x)$

ในรูป 5.1 และรูป 5.2 ข้างบนนี้เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นแสดงระดับค่า (Contour) ของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_1(X)$ และ $Q_2(X)$ ในสเปซ (Space) ของพารามิเตอร์ X ซึ่งสมมุติว่ามีอยู่เพียง 2 มิติ โดยที่ในที่นี้กำหนดให้เส้นแสดงระดับค่าเส้นนอกมีระดับที่มีค่าฟังก์ชันประเมิณผลสูงกว่าเส้นแสดงระดับค่าเส้นใน จากรูป 5.1 เริ่มทำการขดเซยพารามิเตอร์จากจุด 0 เนื่องจากที่ตำแหน่งนี้ทิศทาง $-\nabla Q_1(X)$ และทิศทาง $-\nabla Q_2(X)$ มีทิศทางซึ่งต่างกันซึ่งมีมุมระหว่างทิศทางทั้งสองนั้นมากกว่า 90° ดังนั้นค่าอินเนอร์โปรดัก (Inner Product) ของ $-\nabla Q_1(X)$ และ $-\nabla Q_2(X)$ จะมีค่าเป็นลบ และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ W ซึ่งมีส่วนร่วมในการปรับอิทธิพลของ $-\nabla Q_2(X)$ มีค่ามากดังแสดงในรูปแล้ว เมื่อทำการขดเซยพารามิเตอร์ไปตามทิศทางซึ่งเกิดจากผลลัพท์ของการรวมเวกเตอร์ $-\nabla Q_1(X)$ และ $W[-\nabla Q_2(X)]$ จะเห็นว่าเส้นแสดงระดับค่าของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_1(X)$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_2(X)$ มีค่าลดลง ซึ่งเป็นกรณีเดียวกับกรณีที่ $Q_1(X)$ มีค่าสูงขึ้น ดังที่ได้อธิบายด้วยสมการ (5.9)

สำหรับในรูป 5.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการขดเซยพารามิเตอร์ไปในทิศทางผลลัพท์ของการบวกเวกเตอร์ระหว่าง $-\nabla Q_1(X)$ กับ $W[-\nabla Q_2(X)]$ ซึ่งมีทิศทางแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผลทั้งสองไม่เหมาะสมด้วย เพราะค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ที่มีค่าน้อย ๆ แล้ว จะทำให้ค่าของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_2(X)$ มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมได้ ดังเช่นได้อธิบายแล้วตามสมการ (5.11)

จากตัวอย่างที่ยกมานี้แสดงให้เห็นว่าในการขดเซยค่าพารามิเตอร์ครั้งหนึ่ง ๆ แม้ว่าจะได้ค่าฟังก์ชันประเมิณผลร่วมมีค่าลดลงเสมอ แต่ฟังก์ชันประเมิณผลย่อยบางค่าอาจมีค่าสูงขึ้นได้ เพราะฉะนั้นเมื่อฟังก์ชันประเมิณผลแต่ละฟังก์ชัน อาจจะไม่สามารถลดค่าลงได้ตลอด ทุกครั้งของการประมาณฟังก์ชันแล้ว ปรากฏการณ์นี้ก็อาจทำให้การลดลงของฟังก์ชันประเมิณผล เข้าสู่ค่าที่ยอมรับได้นั้น เป็นไปได้ช้าลง ซึ่งปัญหาข้อบกพร่องนี้เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งสมควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างยิ่ง

แม้ว่าจะได้ยกตัวอย่างการประมาณฟังก์ชันโดยคิดการประมาณเพียง 2 ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันเท่านั้น แต่ก็ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าผลลัพท์ดังกล่าวคือการขาดเสถียรภาพของการลดค่าลงของฟังก์ชันประเมิณผลย่อยต่าง ๆ ก็ยังมีความเป็นจริงได้ในกรณีที่มีการประมาณฟังก์ชันมากกว่า 2 ฟังก์ชันขึ้นไปด้วย และนอกจากนี้ก็ยังสามารถพบได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีการอื่น ๆ มาทำการประมาณฟังก์ชัน

หลายฟังก์ชันที่มีพารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน โดยอาศัยฟังก์ชันประเมินผลร่วม เพียงฟังก์ชันเดียว เป็นตัวช่วยพิจารณาผลการประมวลฟังก์ชัน เช่นเดียวกับวิธีสตีป เปรสดี เซนทีนี้แล้ว ยกตัวอย่าง เช่น วิธีของนิวตัน เป็นต้น [8] ก็ย่อมจะมีปัญหาเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน เพราะวิธีเหล่านั้นต่างยังต้องใช้ทิศทางแกลง เติบโตของฟังก์ชันประเมินผลร่วม เป็นตัวพิจารณาทิศทางการชด เชยค่าพารามิเตอร์เช่นกัน



บทที่ 6

ทิศทางการขุดเซยพารามิเตอร์

ในการประมาณฟังก์ชัน ถ้าพารามิเตอร์ X ของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_j (X, \omega_j)$ ถูกขุดเซย
ไปในทิศทางของหน่วยเวคเตอร์ dl ซึ่งขนาดของการขุดเซย α มีค่าไม่มากนัก โดยการกระจายอนุกรม
เทย์เลอร์รอบ ๆ จุด X จะได้

$$Q_j (X + \alpha dl) \doteq Q_j(X) + \alpha \nabla Q_j^T (X) dl \quad (6.1)$$

เนื่องจาก α มักจะเป็นเลขบวกที่มีค่าน้อย ๆ และ $Q (X, \omega)$ เป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่องซึ่งสามารถ
หาอนุพันธ์ได้

ดังนั้นถ้า $\nabla Q_j^T (X) dl$ มีค่าเป็นลบหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ถ้าอินเนอร์โปรดักของ
หน่วยเวคเตอร์ dl กับแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผลที่ทำให้

$$-\nabla Q_j^T (X) dl > 0 \quad (6.2)$$

แล้วย่อมมีค่าเลขบวกจริง α ที่ทำให้

$$Q_j (X + \alpha dl) < Q_j (X) \quad (6.3)$$

ได้ ซึ่งอินเนอร์โปรดักในสมการ(6.2) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อทิศทางของหน่วยเวคเตอร์ dl มีทิศทาง
ตรงข้ามกับแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_j (X)$

ดังนั้นทิศทางของการขุดเซยพารามิเตอร์ในทิศทางของหน่วยเวคเตอร์ที่ทำให้เกิดอินเนอร์
โปรดักมีค่ามากที่สุดนี้ จะเป็นทิศทางที่ทำให้ $Q_j (X + \alpha dl)$ ในสมการ (6.1) และสมการ(6.3)
มีค่าลดลงอย่างมากที่สุดในการขุดเซยค่าพารามิเตอร์นั้น (สมมุติว่า α มีค่าน้อย) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้
ทิศทางของการขุดเซยพารามิเตอร์ในทิศทางตรงข้ามกับแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผลได้ชื่อว่าทิศทาง
สตีปเปสดีเซนท์ (Steepest Descent Direction)

ดังนั้นในการประมาณฟังก์ชัน เพียงฟังก์ชันเดียวด้วยวิธีสตีปเปสดีเซนท์ จึงเลือกเอาทิศทาง
ตรงข้ามกับแกรเดียนท์ของฟังก์ชันประเมิณผล เป็นทิศทางของการขุดเซยค่าพารามิเตอร์ แต่สำหรับใน
กรณีที่จะทำการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน แนวทิศทางของแกรเดียนท์ของแต่ละฟังก์ชัน

ประเมินผลย่อมจะมีทิศทางต่าง ๆ กันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกทิศทางของการชดเชยพารามิเตอร์
ไปในทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ที่มีส่วนประกอบร่วมมาจากแแกรเดียนต์ต่าง ๆ เหล่านั้น ซึ่งทิศทางของ
หน่วยเวกเตอร์นี้จะต้อง เป็นทิศทางที่ทำให้ค่าอินเนอร์โพรดัคระหว่างตัวของมันกับเวกเตอร์ $-\nabla Q_j(x)$
ของฟังก์ชันประเมินผลแต่ละฟังก์ชันทุก ๆ ฟังก์ชัน มีค่าเป็นบวก ที่ทุกค่าของ j ($j = 1, 2, \dots, l$)
ถ้ากำหนดว่าหน่วยเวกเตอร์นั้นคือ d กล่าวคือที่ทุกค่าของแแกรเดียนต์ของทุกฟังก์ชันยังผลให้เกิดสอด
คล้องกับอสมการ(6.2) ได้แล้ว ทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ d นี้จะเป็นทิศทางของการชดเชยพารา-
มิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมินผลทุก ๆ ฟังก์ชันมีค่าลดลงพร้อม ๆ กัน หรือกล่าวได้ว่าการใช้หน่วย
เวกเตอร์ d นี้มาช่วยชดเชยพารามิเตอร์แล้ว ย่อมจะได้การประมาณฟังก์ชันที่มีเสถียรภาพ เกี่ยวกับ
วิธีการที่ได้มาซึ่งหน่วยเวกเตอร์ d ซึ่งมีคุณสมบัติดังกล่าวแล้ว สามารถทำได้โดยการใช้การโปรแกรม
เชิงเส้นเข้ามาช่วย ซึ่งรายละเอียดเรื่องนี้จะได้กล่าวในบทต่อไป



บทที่ 7

การหาทิศทางการหดเซยพารามิเตอร์

ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 6 ว่าในกรณีที่ต้องการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน ถ้าหากสามารถหาหน่วยเวกเตอร์ d ที่ทำให้อินเนอร์โปรดักของตัวมันเองกับแกรเดียนท์ของฟังก์ชัน ประเมินผลทุก ๆ ฟังก์ชันที่ต้องการประมาณเป็นไปอย่างสอดคล้องกับอสมการ(6.2) ได้แล้ว หน่วยเวกเตอร์ d นี้จะเป็นทิศทางของการหดเซยพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมินผลทุก ๆ ฟังก์ชันมีค่าลดลงพร้อม ๆ กันได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้จะทำให้การลดค่าลงของฟังก์ชันประเมินผลทุก ๆ ฟังก์ชันเป็นไปพร้อม ๆ กันอย่างมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จึงยังคงเหลือปัญหาอยู่ว่าจะหาทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ d ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมินผลทุกฟังก์ชันมีค่าลดลงอย่างมากที่สุดพร้อม ๆ กันในการหดเซยพารามิเตอร์แต่ละครั้งได้อย่างไร

จากที่ทราบมาแล้วว่า เมื่อทำการหดเซยพารามิเตอร์ไปด้วยเวกเตอร์ซึ่งมีขนาดเล็กพอสมควร ในทิศทางสตีป เปสดีติ เซนธ์แล้ว ฟังก์ชันประเมินผลจะมีการลดค่าลงมากที่สุด ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อค่าอินเนอร์โปรดักของอสมการ(6.2) มีค่ามากที่สุด ดังนั้นในกรณีที่จะทำการประมาณฟังก์ชันซึ่งมีฟังก์ชันประเมินผลเพียงฟังก์ชันเดียว ก็ควรจะเลือกทิศทางของการหดเซยตามแนวสตีป เปสดีติ เซนธ์ $-\nabla Q(x)$ แต่ในกรณีที่ฟังก์ชันประเมินผลมีมากกว่าหนึ่งฟังก์ชันขึ้นไปโดยปกติทิศทางสตีป เปสดีติ เซนธ์ของฟังก์ชันประเมินผลของแต่ละฟังก์ชันก็จะแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงอาจไม่สามารถใช้ทิศทางของสตีป เปสดีติ เซนธ์เหล่านี้เป็นทิศทางของการหดเซยพารามิเตอร์ได้ เพราะฉะนั้นวิธีที่ดีที่สุดก็คือจะต้องหาทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ d ที่จะทำให้ค่าอินเนอร์โปรดักตามอสมการ(6.2) มีค่ามากที่สุดพร้อม ๆ กันทุกฟังก์ชัน (ทุกค่า j) มาใช้ช่วยในการหดเซยพารามิเตอร์นี้ ในกรณีนี้สามารถเขียนอสมการ(6.2) ใหม่ในรูปของอสมการ(7.1) ต่อไปนี้ ซึ่งจะเห็นว่าอสมการ(7.1) ไม่ได้ทำให้เสียความหมายของอสมการ(6.2) ไปแต่อย่างไร

$$-\nabla Q_j^T(x) \cdot d \geq \delta > 0 \quad j = 1, 2, \dots, 1 \quad (7.1)$$

ในที่นี้ δ คือเลขจริงซึ่งเป็นค่าบวกใด ๆ

เพื่อที่จะใช้ d เป็นทิศทางของการลด เซพพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประเมิณผลมีค่าลดลงมากที่สุดพร้อมกัน ในการลดเซพค่าในการทำการประมาณฟังก์ชันจึงควรเลือก d ที่ได้ตามสมการ(7.1) ที่ให้ค่า δ ที่มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้

จากความคิดตามหลักการข้างต้นนี้ สามารถสร้างวิธีการหาหน่วยเวกเตอร์ d โดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นเข้ามาช่วยได้ ในกรณีนี้ปัญหาจะถูกดัดแปลงมาอยู่ในลักษณะต่อไปนี้ คือ [20]

$$\max_{d} \delta$$

โดยเงื่อนไข

$$-\nabla Q_j^T(x) \cdot d \geq \delta \quad ; j = 1, 2, \dots, l \quad (7.2)$$

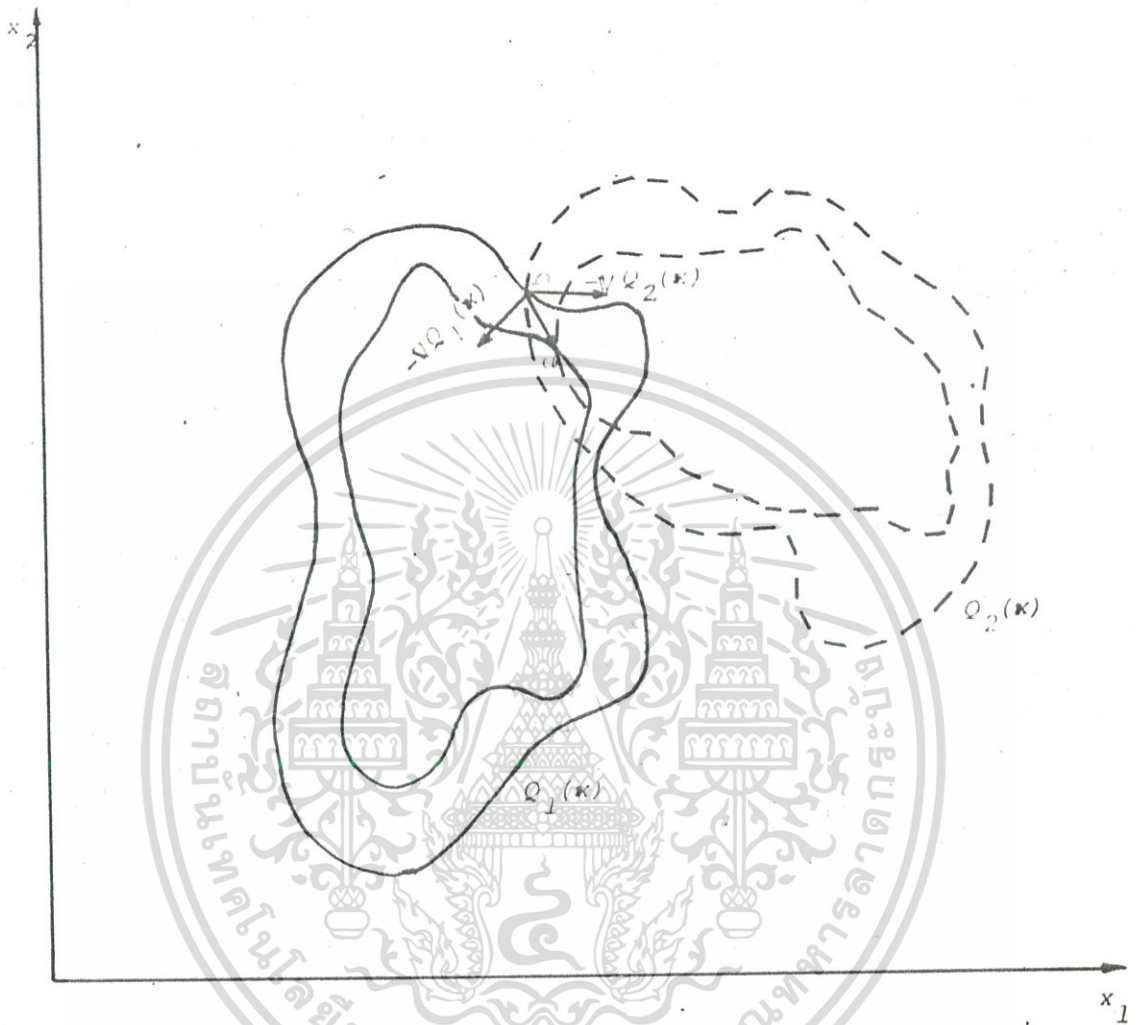
และ

$$0 \leq \|d\| \leq 1$$

เมื่อได้หน่วยเวกเตอร์ d มาแล้ว ก็จะสามารถจะจัดดำเนินการ เพื่อที่จะลดเซพค่าพารามิเตอร์ ในการทำการประมาณฟังก์ชันแบบอิทเธอร์เรทีฟได้

จากผลของการโปรแกรมเชิงเส้น ถ้า $\delta > 0$ ก็แสดงว่าสามารถลดเซพค่าพารามิเตอร์ซึ่งทำให้ $Q(x)$ ทุกตัวลดค่าลงได้ หรือกล่าวได้ว่าค่า d ที่ได้จากการโปรแกรมเชิงเส้นนั้นประกันว่า การประมาณฟังก์ชันนี้มีการลดลงของค่าฟังก์ชันประเมิณผลแต่ละตัวมีเสถียรภาพอย่างแน่นอน ขบวนการที่จะนำ d นี้ไปช่วยในการประมาณฟังก์ชันจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 9

เพื่อแสดงให้เห็นภาพพจน์ของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลแต่ละฟังก์ชัน เมื่อได้ถูกลดเซพพารามิเตอร์ไปตามทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ d ที่ได้จากการโปรแกรมเชิงเส้นดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะพิจารณาปัญหาการประมาณฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน ในสเปซของพารามิเตอร์ $X \in R^2$ มิติ เช่นเดียวกับที่ได้ใช้มาแล้วในบทที่ 5 (รูป 5.1, 5.2)



รูปที่ 7.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการตัดเซตพาราเมเตอร์ไปในทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ d ด้วยขนาดที่เหมาะสม จะทำให้ $Q_1(x)$ และ $Q_2(x)$ มีค่าลดลงพร้อมๆกัน

————— เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_1(x)$

- - - - - เส้นแสดงระดับค่าของ $Q_2(x)$

จากรูป 7.1 แม้ว่าแนวสตีป เปสดีติ เซนทซ์ของฟังก์ชันประ เมีนผลทั้งสองจะทำมุมแตกต่างกันไปมากกว่า 90° องศาก็ตาม จะเห็นได้ว่าทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ dl ที่หาได้จากการโปรแกรมเชิงเส้นจะเป็นทิศทางของเส้นแบ่งครึ่งมุมระหว่าง $-\nabla Q_1(X)$ กับ $-\nabla Q_2(X)$ นั้น ซึ่งเมื่อทำการชดเชยพารามิเตอร์ไปตามทิศทางของ dl นี้ด้วยขนาดที่เล็กพอสมควรแล้ว จะเห็นได้ว่าค่าของ $Q_1(X)$ และ $Q_2(X)$ จะมีการลดลงพร้อม ๆ กัน ด้วยอัตราที่เท่ากันโดยไม่ต้องอาศัยสมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์เลย



บทที่ 8

การหาขนาดของ เวกเตอร์ที่จะใช้ทำการชดเชย

ในการชดเชยพารามิเตอร์ ขนาดของ เวกเตอร์ที่ใช้ทำการชดเชยมีบทบาทสำคัญอย่างมาก เพราะถ้าขนาด α มีค่าน้อยแล้ว ถึงแม้การชดเชยจะทำได้โดยที่รักษาคุณสมบัติที่มีเสถียรภาพอยู่ได้ก็ตาม แต่ปริมาณการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลต่าง ๆ จะน้อยลง เป็นเหตุให้ต้องใช้จำนวนครั้งในการชดเชยมากขึ้นเกินความจำเป็น หรือกล่าวได้ว่าจะต้องใช้เวลาเครื่องคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ของคอมพิวเตอร์มากขึ้น แต่ถ้าใช้ขนาดของ เวกเตอร์ที่จะใช้ทำการชดเชย กล่าวคือ α มากเกินไป ฟังก์ชันประเมิณผลอาจมีค่าเพิ่มขึ้นแทนการลดลงได้ ดังนั้นในการนี้จึงจำเป็นต้องเลือกค่าขนาดของ เวกเตอร์ที่จะใช้ทำการชดเชยให้เหมาะสม

โดยธรรมชาติทั่วไปอาจจะทำการสรรคหาขนาดของ เวกเตอร์ที่จะใช้ทำการชดเชย α โดยการใช้วิธีการค้นหาเชิงเส้น (Linear Searching) ซึ่งพบกันอยู่โดยทั่วไปในสาขาการวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) ก็ได้ แต่ในที่นี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของฟังก์ชันประเมิณผล $Q_j(X)$ ต่าง ๆ โดยปกติทั่วไปจะเลือกค่า $Q_j(X)$ เหล่านั้น เป็นฟังก์ชันที่มีค่าบวกอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นเมื่อมีการชดเชยพารามิเตอร์ที่ทำให้ $Q_j(X)$ เปลี่ยนเป็น $Q_j(X + \alpha d)$ โดยทำการเลือกค่าของ α ที่ทำให้ $Q_j(X + \alpha d)$ มีค่าน้อยสุดนั้น ค่า α คำนี้อยู่จะเป็นค่าเดียวกับ α ที่ทำให้ $Q_j^2(X + \alpha d)$ มีค่าน้อยสุดด้วย กล่าวคือ

$$\left\{ \alpha_j^* \left| \min_{\alpha_j} Q_j(X + \alpha_j d) \right. \right\} = \left\{ \alpha_j^* \left| \min_{\alpha_j} Q_j^2(X + \alpha_j d) \right. \right\} \quad (8.1)$$

จากการสังเกตนี้ อาจนำไปช่วยหาค่า α ที่เหมาะสมได้ดังที่จะแสดงให้เห็นต่อไปนี้

เพราะปกติในการชดเชยพารามิเตอร์ α จะมีค่าเล็กพอประมาณ ดังนั้นโดยใช้ออนุกรมเทย์เลอร์จะประมาณได้ว่า

$$Q_j(X + \alpha d) \doteq Q_j(X) + \alpha_j \nabla Q_j^T(X) d \quad (j = 1, 2, \dots, l) \quad (8.2)$$

$$\therefore Q_j^2 (X + \alpha dl) \doteq \left[Q_j (X) + \alpha_j \nabla Q_j^T (X) dl \right]^2 \quad (8.3)$$

เพื่อที่จะหา α ที่ทำให้ $Q_j^2 (X + \alpha dl)$ มีค่าน้อยสุด จะหาอนุพันธ์ของ $Q_j^2 (X + \alpha dl)$ เทียบกับ α ซึ่งจะได้ดังต่อไปนี้ คือ

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} Q_j^2 (X + \alpha dl) &\doteq 2 \left[Q_j (X) + \alpha_j \nabla Q_j^T (X) dl \right] \frac{d}{d\alpha} \left[Q_j (X) + \alpha_j \nabla Q_j^T (X) dl \right] \\ &\doteq 2 \nabla Q_j^T (X) dl \left[Q_j (X) + \alpha_j \nabla Q_j^T (X) dl \right] \end{aligned} \quad (8.4)$$

(j = 1, 2, ..., 1)

จากนี้ถ้าสมมุติว่า α^* เป็นค่าของ α ที่ทำให้ $Q_j^2 (X + \alpha dl)$ น้อยสุด จะหา α^* ได้โดยการให้สมการ (8.4) เท่ากับศูนย์

$$2 \nabla Q_j^T (X) dl \left[Q_j (X) + \alpha_j^* \nabla Q_j^T (X) dl \right] = 0 \quad (8.5)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\alpha_j^* = \left| \frac{-Q_j (X)}{\nabla Q_j^T (X) dl} \right| \quad (j = 1, 2, \dots, 1) \quad (8.6)$$

อย่างไรก็ตาม α_j^* เหล่านี้ย่อมมีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งในการชดเชยจริง ๆ แล้ว จะต้องเลือกค่าขนาดของเวกเตอร์ใช้ทำการชดเชย α เพียงค่าเดียว จึงยังคงค้างปัญหาอยู่ว่าจะเลือกค่าขนาดของเวกเตอร์ที่ใช้ทำการชดเชยจาก $\alpha_j^* (j = 1, 2, \dots, 1)$ เหล่านี้ว่าควรจะใช้ตัวใด จากความรู้ที่ว่าขนาดของเวกเตอร์ที่ใช้ทำการชดเชยมีขนาดเล็กลงแล้ว เงื่อนไขของอสมการ(6.3) กล่าวคือ

$$Q_j (X + \alpha dl) < Q_j (X) \quad (6.3)$$

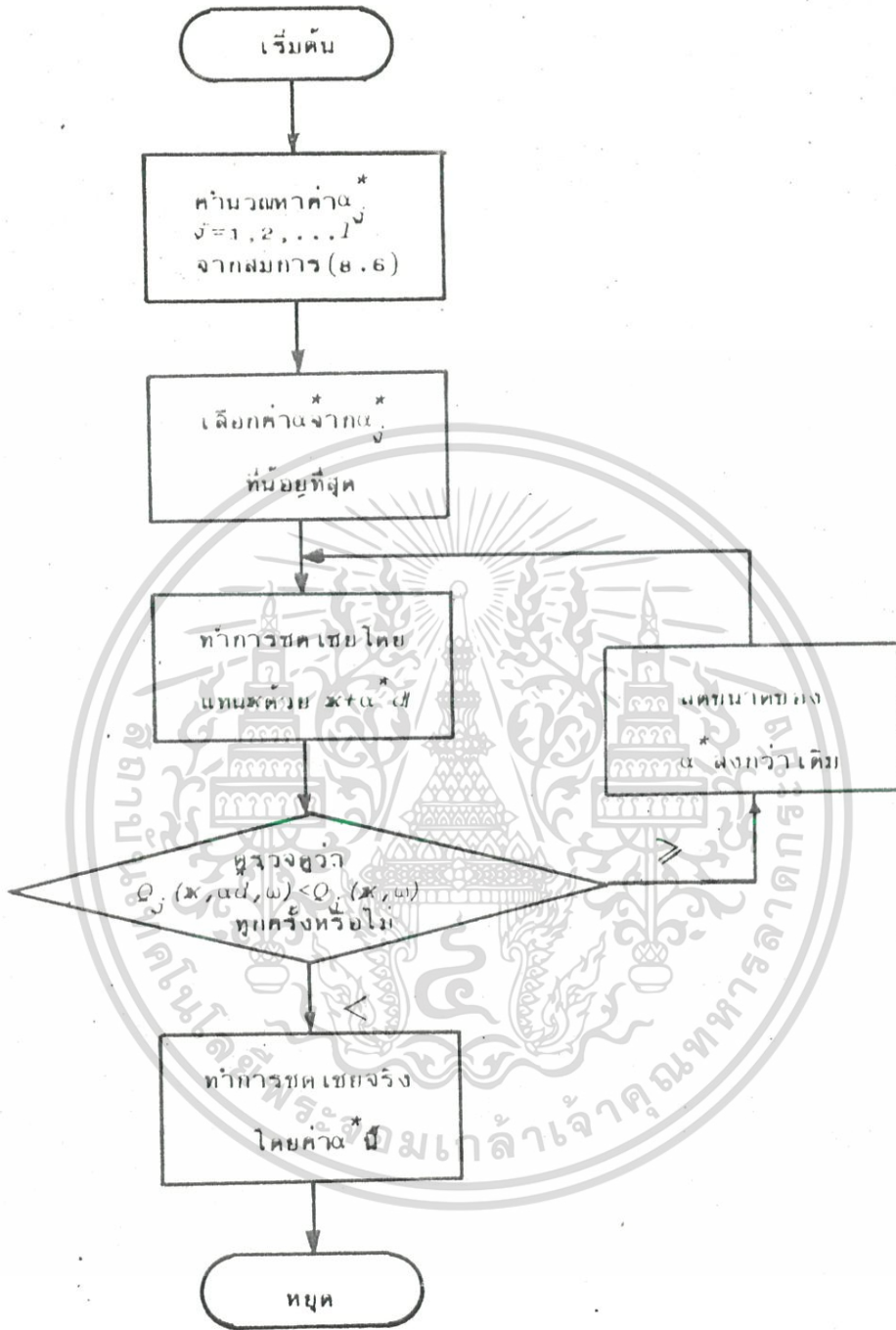
จะเป็นจริงเสมอ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ทราบว่าควรเลือกค่าขนาดของเวกเตอร์ที่ใช้ทำการชดเชย α จาก α_j^* ($j = 1, 2, \dots, n$) โดยตัดสินเอา α_j^* ที่เล็กที่สุดมาใช้ ถ้าสมมุติว่าค่า α ที่ใช้ในการชดเชยนี้เป็น α^* จะเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$\alpha^* = \min_j \left\{ \alpha_j^* \right\} \quad (8.7)$$

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอค่า α^* ในสมการ (8.7) นี้เป็นตัวเริ่มต้นทำการชดเชย อย่างไรก็ตามก็ดีเพราะวิธีการหา α^* ดังกล่าวเป็นเพียงค่าประมาณ ดังนั้นในบางครั้งค่านี้ก็ย่อมมีทางผิดพลาดได้เหมือนกัน จึงต้องทำการทดสอบเสถียรภาพของการชดเชยทุกครั้ง ถ้าเห็นว่าค่าที่ได้ไม่เหมาะสม ก็ควรทำการลดค่าของ α^* ลงทีละน้อย (30%) ในที่สุดก็จะหาค่า α^* ที่เหมาะสมที่สุดได้

จากที่กล่าวมาแล้ว แผนภูมิที่จะหาค่า α^* ให้เหมาะสมอาจเขียนได้ดังนี้





รูปที่ 8.1 แผนภูมิแสดงการหาค่า α*

บทที่ 9

ขบวนการประมาณฟังก์ชัน

จากหลักการที่อธิบายมาแล้ว สามารถจัดทำขบวนการประมาณฟังก์ชันแบบอิตเทอริเวททีฟที่มีเสถียรภาพได้ดังต่อไปนี้คือ [12]

1. กำหนดรูปของฟังก์ชัน $R_j (X, \omega_{ji})$ ($j = 1, 2, \dots, l; i = 1, 2, \dots, m_j$) ที่จะนำมาประมาณฟังก์ชันที่กำหนดให้ $D_j(\omega_{ji})$ ($j = 1, 2, \dots, l; i = 1, 2, \dots, m_j$) ที่ต้องการ
2. กำหนดค่าเริ่มต้น (Initial Value) ให้กับค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาทำการประมาณฟังก์ชันดังกล่าวแล้ว
3. กำหนดจุดสุ่มตัวแปรอิสระ ω_{ji} ($j = 1, 2, \dots, l; i = 1, 2, \dots, m_j$) ให้กับฟังก์ชันต่าง ๆ ในสมการ (4.1)
4. กำหนดและคำนวณหาฟังก์ชันประเมินผล เช่นกำหนดให้
$$Q_j (X, \omega_j) = \sum_j [D_j(\omega_j) - R_j(X, \omega_j)]^2$$
 ดังนี้ เป็นต้น
5. พิจารณาว่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณฟังก์ชันนั้นอยู่ในช่วงที่จะนำไปใช้งานได้หรือไม่ ถ้าได้ก็ยุติขบวนการไว้เพียงเท่านี้ แต่ถ้าไม่ได้ก็ดำเนินการขั้นตอนต่อไป
6. ทำการคำนวณหาทิศทางสตีป เบลด์ดีเซนท์ $-\nabla Q(X)$ ของฟังก์ชัน ประเมินผลทั้งหมด
7. ทำการโปรแกรมเชิงเส้นตามลักษณะปัญหาของสมการ (7.2)
8. พิจารณาว่า $\epsilon > 0$ หรือไม่ ถ้า ϵ น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์แสดงว่าจะทำการประมาณฟังก์ชันเพื่อที่จะให้ฟังก์ชันที่นำมาประมาณนั้นมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ต้องการโดยพร้อมกันหมดทุกฟังก์ชันต่อไปอีกมิได้ กล่าวคือ เมื่อเกิดกรณีเช่นนี้ฟังก์ชันบางฟังก์ชันอาจทำการประมาณค่าได้ดีกว่าเดิม แต่ต้องมีบางฟังก์ชันที่เมื่อทำการชดเชยเข้าไปแล้วเลวลงกว่าเดิม ดังนั้นในกรณีนี้ต้องให้คอมพิวเตอร์หยุดแจ้งผลในตอนนี้นี้ก่อนและจะต้องพิจารณาความเหมาะสมต่าง ๆ เสียใหม่ ถ้าหากว่า $\epsilon > 0$ แสดงว่าสามารถทำการชดเชยต่อไปได้ โดยการประมาณในขั้นต่อไปนี้ยังคงมีเสถียรภาพเป็นอย่างดี ซึ่งก็จะดำเนินการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

9. ทำการชดเชยพารามิเตอร์ตามแนวหน่วยเวกเตอร์ d หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งทำการแทน $X^{k+1} = X^k + \alpha^k d$ ในการชดเชยนี้จะต้องเลือกค่า α ที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการเลือกค่า α ที่เหมาะสมอาจทำได้ดังวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 8

10. กลับไปทำขั้นตอนที่ 4 ทำทวนซ้ำเช่นนี้ไปจนกว่าจะได้ฟังก์ชันต่าง ๆ จากการประมาณฟังก์ชันตามที่ต้องการ

ในขั้นตอนที่ 8 เมื่อ $d \leq 0$ จะต้องมาพิจารณาความเหมาะสมของการประมาณฟังก์ชันใหม่ ถ้าฟังก์ชันประเมินผลมีค่าสูง เกินกว่าที่จะยินยอมได้ทุกค่า กล่าวคือการประมาณฟังก์ชันประเมินผลต่าง ๆ เหล่านี้มีความคลาดเคลื่อนมาก ทางที่แก้ไขได้คือ ลองเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ดูใหม่ ถ้าทำแล้วยังคงคล้ายอย่าง เดิมนั่นแสดงว่ารูปแบบของฟังก์ชันที่นำมาประมาณนี้ ไม่สามารถให้ความละเอียดในการประมาณได้ดีพอตามต้องการได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบของฟังก์ชันที่จะใช้ประมาณใหม่ให้เหมาะสม แล้วก็เริ่มขบวนการประมาณค่าใหม่เหมือนเดิมตั้งแต่แรก

อย่างไรก็ดี ถ้ามีฟังก์ชันบางฟังก์ชันประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการเป็นอย่างมาก จนเรียกได้ว่ามากเกินค่าที่หวังเอาไว้ แต่ก็ยังมีฟังก์ชันที่เหลืออยู่บางฟังก์ชันยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในกรณีเช่นนี้อาจแก้ไขได้โดยการใช้ฟังก์ชันที่ประมาณได้ดีแล้วเป็นเงื่อนไข สำหรับการประมาณหรือสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นได้ และมาทำการประมาณฟังก์ชันที่เหลืออยู่ต่อไป เพื่อให้เข้าใจยิ่งขึ้นสำหรับในกรณีเช่นนี้ ขอสมมุติว่ามีการประมาณฟังก์ชัน 3 ชุด โดยมีฟังก์ชันประเมินผล 3 ฟังก์ชัน คือ $Q_1(X)$, $Q_2(X)$ และ $Q_3(X)$ เมื่อทำการประมาณไปได้ระยะหนึ่ง d เกิดกลายเป็นศูนย์ไป และเมื่อตรวจสอบดูปรากฏว่า $Q_1(X)$ เพียงฟังก์ชันเดียวที่มีค่าลดลงน้อยกว่าค่าที่หวังไว้ (สมมุติว่าเป็น ϵ_1) เป็นอย่างมาก แสดงว่าฟังก์ชัน $R_1(X, \omega_1)$ ที่นำมาประมาณฟังก์ชัน $D_1(X, \omega_1)$ มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ก่อน การแก้ไขอาจทำได้โดยดัดแปลงปัญหาของการหาหน่วยเวกเตอร์ d จากการทำการโปรแกรมเชิงเส้นที่มีรูปแบบแปลงเป็นเหลือเพียง

$$\begin{aligned} & \max d \\ & d \\ \text{โดยเงื่อนไข} & - \nabla Q_2^T(X) d \geq \delta \\ & - \nabla Q_3^T(X) d \geq \delta \\ & 0 \leq \|d\| \leq 1 \end{aligned} \tag{9.1}$$

เท่านั้น และในการนี้จะต้องคอยพิจารณาการชดเชยพารามิเตอร์ให้ได้ $Q_1 \leq \epsilon_1$ อยู่ตลอดเวลาด้วย เพราะย่อมเป็นการแน่นอนอย่างยิ่งว่าการชดเชยพารามิเตอร์ตามแนวหน่วยเวกเตอร์ dl ที่ได้จากสมการ (9.1) นั้น ค่า $Q_1 (X)$ ต้องมีค่าเพิ่มขึ้น จึงต้องคอยระวังมิให้ $Q_1 (X)$ เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าที่หวังเอาไว้

การกระทำการแก้ไข เช่นนี้ บางครั้งก็ประสบความสำเร็จได้ฟังก์ชันในการประมาณตามปรารภนา แต่บางครั้งก็ล้มเหลว ในกรณีที่ล้มเหลวจะต้องจัดทำค่าเริ่มต้นสำหรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาทดลองทำการดูใหม่ ถ้ายังล้มเหลวอยู่เช่นเดิม ก็จะต้องแก้ไขรูปของฟังก์ชันที่จะใช้ประมาณค่าใหม่ และเริ่มทำการประมาณค่าตั้งแต่แรก เช่นเดิม

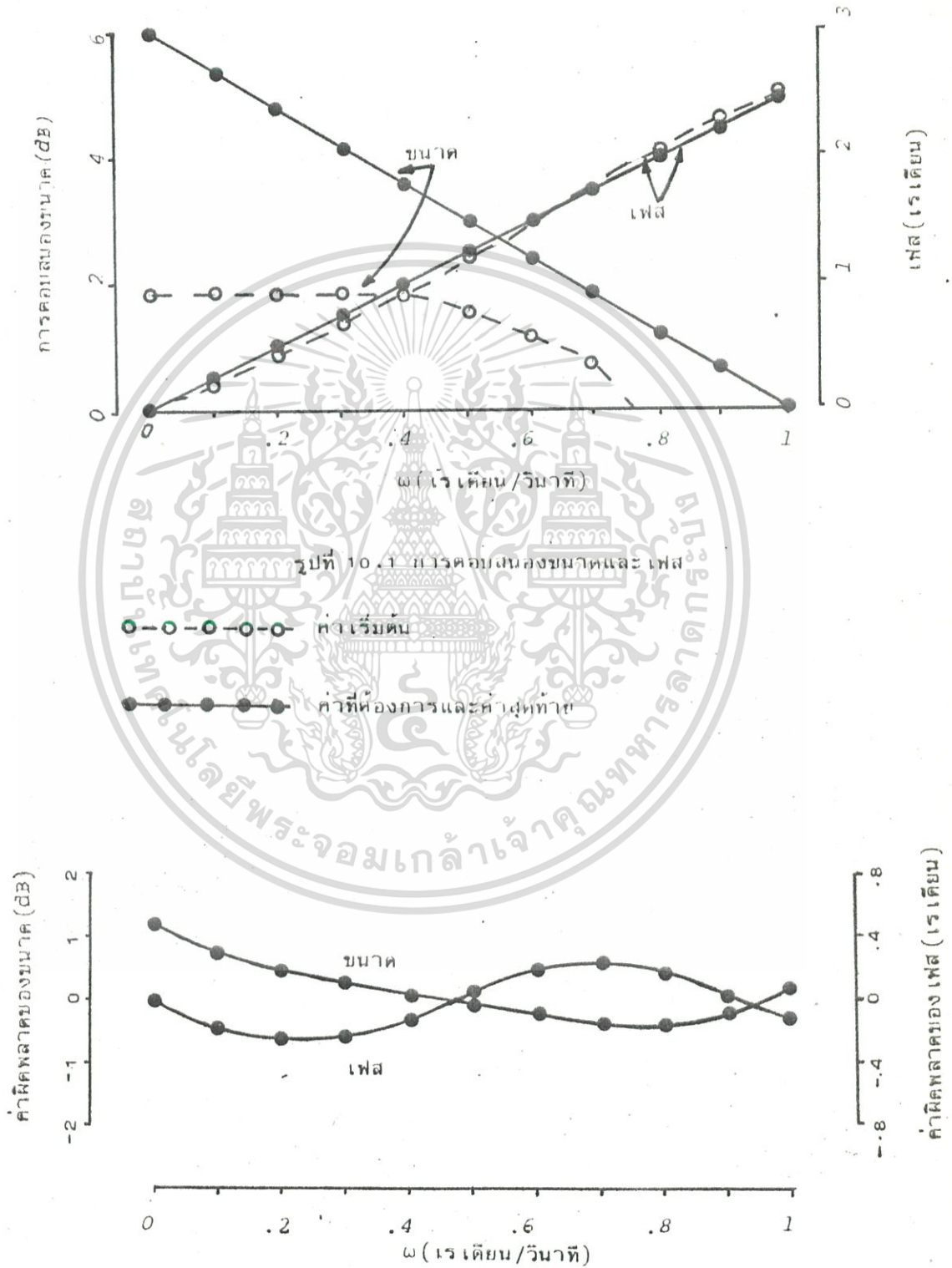


บทที่ 10

การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองใช้วิธีที่เสนอใหม่นี้ ในการประมาณฟังก์ชัน เพื่อสนับสนุน ว่าหลักการดังกล่าวมาแล้วข้างต้นมี เสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประ เหมินผลดีกว่าวิธีการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน ที่มีมาแต่เดิมดังเช่นได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และนอกจากนี้ยังได้แสดงผลการทดลองนำวิธีประมาณฟังก์ชันที่เสนอใหม่นี้ไปใช้ในการออกแบบระบบหรือวงจรที่ต้องการให้มีการตอบสนองหลาย ๆ อย่างอีกด้วย ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ได้แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบดังกล่าวแล้วให้เห็นจริง ส่วนในการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้วิธีประมาณฟังก์ชันแบบใหม่นี้ ใช้กับการออกแบบที่ต้องการให้ระบบมีการตอบสนองวัตถุประสงค์ของระบบนั้น ๆ ได้หลาย ๆ อย่างเพื่อที่จะปรับปรุงผลลัพธ์ของการออกแบบจากการออกแบบด้วยวิธีที่มีผู้เสนอไว้แล้วให้ดีขึ้น

การทดลองที่ 1 เป็นการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านให้สามารถตอบสนองความต้องการได้ 2 ประการคือให้มีการตอบสนองของขนาดต่อความถี่ และการตอบสนองของเฟสต่อความถี่ เป็นไปตามกราฟในรูปที่ 10.1 [13] เพราะฉะนั้นสำหรับตัวอย่างนี้ $\omega_1 = \omega_2 = \omega$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในการออกแบบได้เลือกทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ดังสมการที่ (10.1) คือ

$$T(X, \omega) = \frac{1}{(S+X_1)(S+X_2+jX_3)(S+X_2-jX_3)} \Big|_{S=j\omega} \quad (10.1)$$

ในที่นี้ $D_1(\omega)$ และ $R_1(X, \omega)$ เป็นฟังก์ชันที่แสดงข้อกำหนดของขนาด (Magnitude) และผลตอบสนองของขนาดต่อความถี่ของ $T(X, \omega)$ ตามลำดับ ส่วน $D_2(\omega)$ และ $R_2(X, \omega)$ จะเป็นฟังก์ชันที่แสดงข้อกำหนดของเฟส และผลตอบสนองของเฟสต่อความถี่ของ $T(X, \omega)$ ตามลำดับ

จากสมการ (10.1) จะหาได้ว่า [14]

$$R_1(X, \omega) = -10 \log_{10} \left[(\omega^2 + X_1^2) \left\{ (X_3 - \omega)^2 + X_2^2 \right\} \left\{ (X_3 + \omega)^2 + X_2^2 \right\} \right] \quad (dB) \quad (10.2)$$

และ

$$R_2(X, \omega) = \tan^{-1} \frac{\omega}{X_1} + \tan^{-1} \frac{\omega - X_3}{X_2} + \tan^{-1} \frac{\omega + X_3}{X_2} \quad (\text{เรเดียน}) \quad (10.3)$$

ตามลำดับ เมื่อ $X = (X_1, X_2, X_3)^T$ เป็นเวกเตอร์พารามิเตอร์ของการประมาณฟังก์ชัน

ในการทดลองนี้ ได้เลือกใช้ฟังก์ชันประเมิผลตามสมการ (10.4) และ (10.5) ดังนี้

$$Q_1(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{21} \left[D_1(\omega_i) - R_1(X, \omega_i) \right]^2 \quad (10.4)$$

$$Q_2(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{21} \left[D_2(\omega_i) - R_2(X, \omega_i) \right]^2 \quad (10.5)$$

จากค่าเริ่มต้นที่แสดงในตาราง 10.1 จะได้ คุณสมบัติของ $R_1(X, \omega)$ และ $R_2(X, \omega)$ ดังแสดงในรูปที่ 10.1 เช่นกัน และเมื่อได้ทำการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีการที่เสนอใหม่นี้ไปจนจบวนการประมาณฟังก์ชัน จบสิ้นลง จะได้ผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชันดังแสดงใน

รูปเดียวกัน จะเห็นว่าผลของการประมาณฟังก์ชันที่ได้ใกล้เคียงกับข้อกำหนดที่ต้องการมาก จินตคล้ายกับจะเป็นค่าเดียวกัน และค่าผิดพลาดของการประมาณฟังก์ชันเหล่านี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10.2 สำหรับค่าพารามิเตอร์สุดท้าย ของการประมาณฟังก์ชันได้แสดงไว้ในตารางที่ 10.1

ค่าพารามิเตอร์	X_1	X_2	X_3
ค่าเริ่มต้น	1.0	0.5	0.75
ค่าสุดท้าย	0.5437	0.4674	0.9639

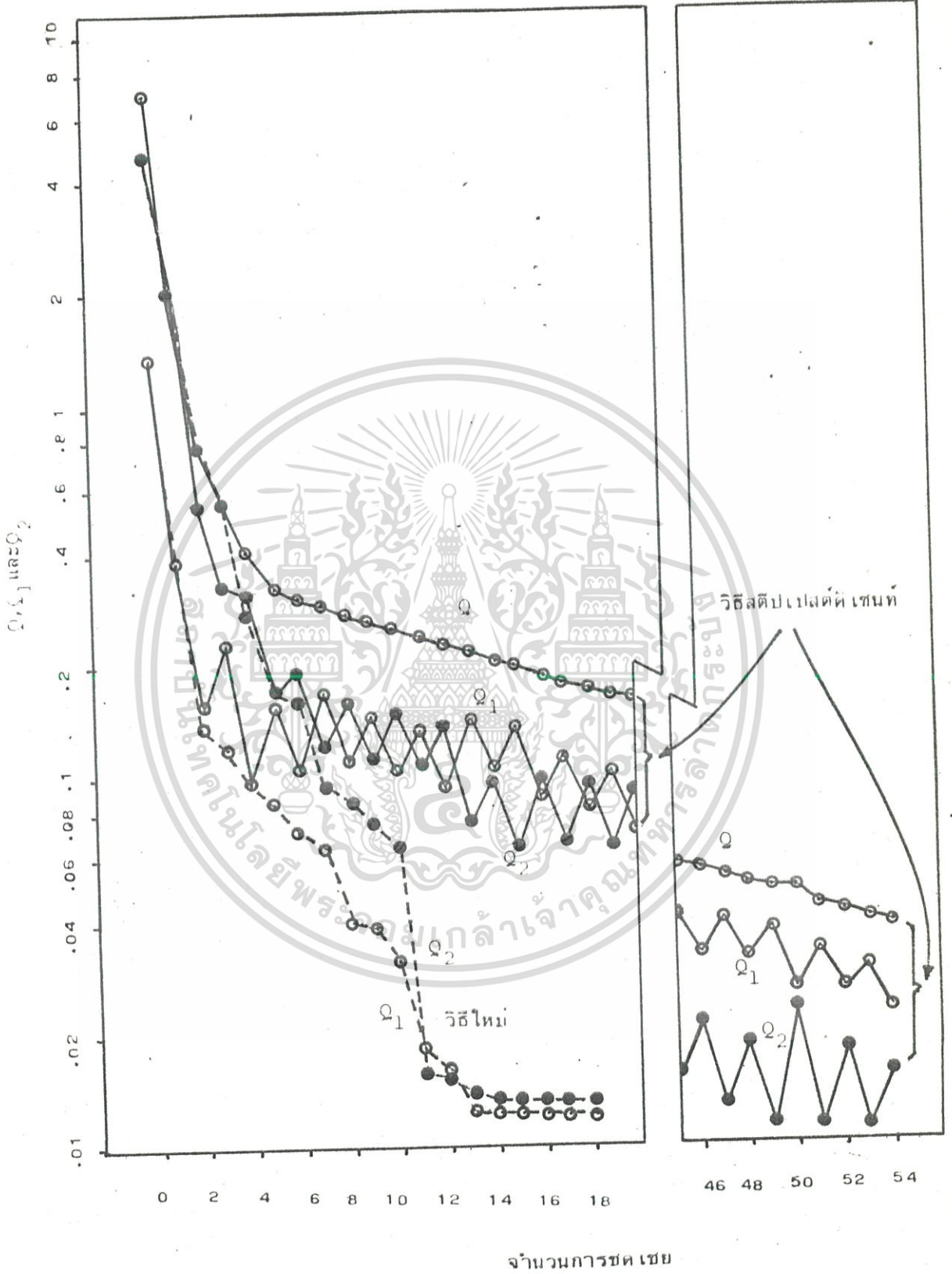
ตาราง 10.1

การเปรียบเทียบถึงเสถียรภาพของการผลของฟังก์ชันประ เหม็นผลกับวิธีการแบบ เดิม ในที่นี้ได้ เลือกวิธีสตีป เพลสดี เซนต์ เป็นตัวแทนของวิธีการแบบ เดิม โดยให้ฟังก์ชันประ เหม็นผลร่วม เป็น ดังสมการที่ (10.6) คือ

$$Q = Q_1 + WQ_2 \quad (10.6)$$

ในที่นี้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ W ให้มีค่าเท่ากับ 1

และจากการใช้ค่าพารามิเตอร์ เริ่มต้นค่าเดียวกับค่าที่แสดงในตารางที่ 10.1 จะได้ ผลลัพธ์ของการ เปรียบ เทียบดังที่แสดงในรูปที่ 10.3



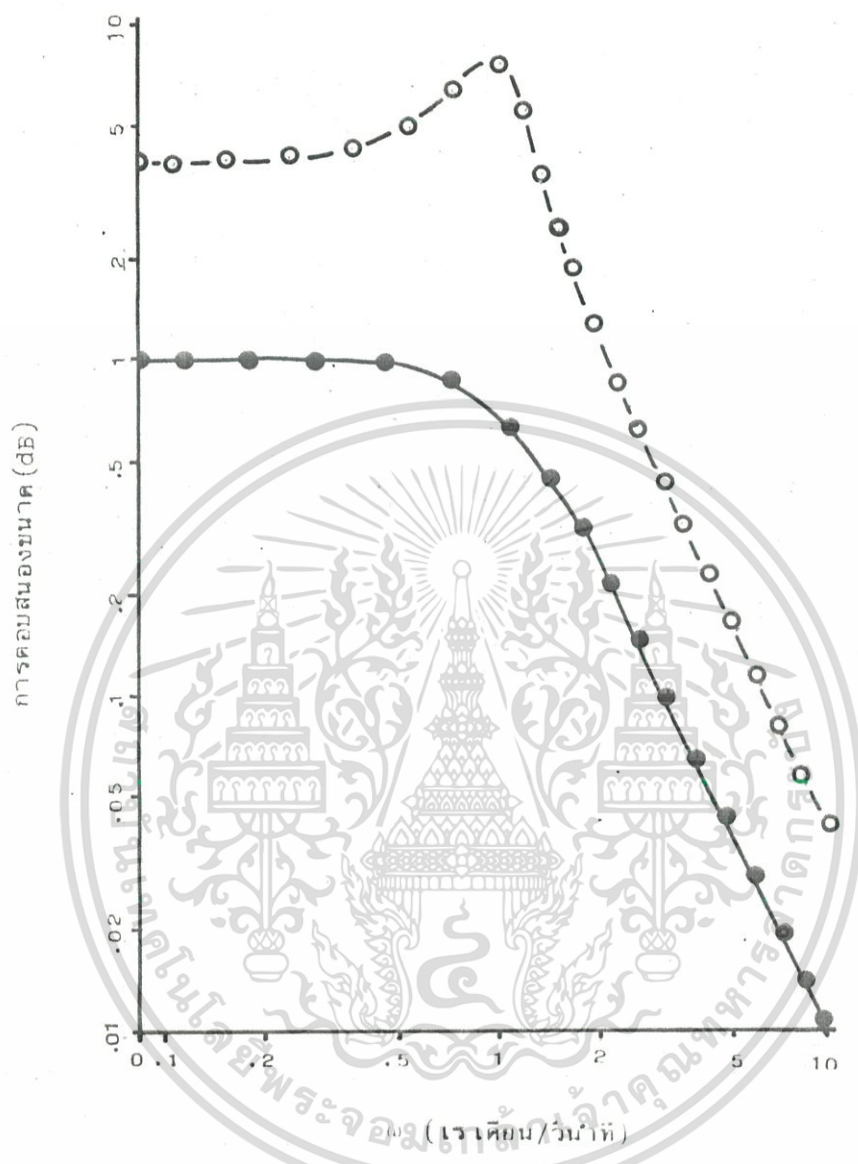
รูปที่ 10.3 ลักษณะการลดลงของฟังก์ชันประเมิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 10.3 จะเห็นได้ว่าในวิธีการเดิม แม้ว่า Q จะมีค่าลดลงทุกครั้งที่มีการชดเชย พารามิเตอร์ แต่ค่า Q_1 และ Q_2 ต่างก็มิได้มีค่าลดลงพร้อม ๆ กันเสมอด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในบทที่ 5 เมื่อเป็นเช่นนี้ฟังก์ชันประเมิณผลต่าง ๆ จะมีค่าลดลงสู่ค่าที่จะนำไปใช้งานได้จึง เป็นไปได้ช้า แม้ว่าจะได้ทำการประมาณฟังก์ชันไปแล้วถึง 54 ครั้ง แต่การประมาณฟังก์ชันก็ยังไม่สิ้นสุด ในขณะที่เมื่อทำการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีใหม่เพียง 18 ครั้ง การประมาณฟังก์ชันก็จบสิ้นลงและได้ผลลัพธ์ของฟังก์ชัน ประเมิณผลแต่ละตัวมีค่าต่ำกว่ามาก

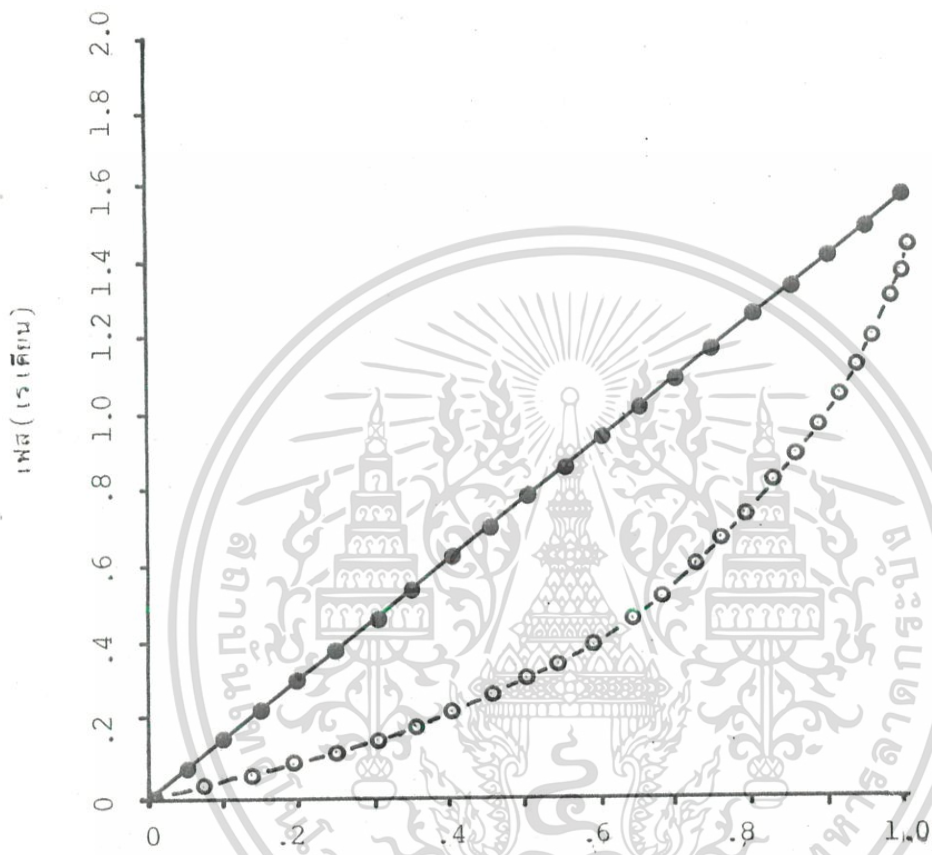
การทดลองที่ 2 เนื่องจากในมีจจุบันระบบต่าง ๆ มีความซับซ้อนยุ่งยากมากขึ้น ข้อกำหนดเพื่อ ที่จะให้ระบบนั้น ๆ สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของระบบจึงมีมากขึ้นตามมา ยกตัวอย่าง เช่นการออกแบบวงจรกรองความถี่ แต่เดิมมีความต้องการให้วงจรสามารถตอบสนองทางด้านความถี่ได้ก็หมายความว่า เพียงพอแล้ว แต่ในมีจจุบันงานบางอย่างจำเป็นต้องให้วงจรนั้นสามารถตอบสนองทางด้าน เวลา เพิ่มขึ้น ภายนอกเหนือจากการตอบสนองทางด้านความถี่อีกด้วย [9]

ในการทดลองนี้ จะยกตัวอย่างการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่นอกเหนือจากจะให้ วงจรสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ทางด้านความถี่ กล่าวคือ สามารถตอบสนองทางด้านขนาดต่อ ความถี่ และ เฟสต่อความถี่ ให้เป็นไปตามกราฟในรูปที่ 10.4 และ 10.5 ตามลำดับแล้ว ยัง ต้องการให้วงจรนี้สามารถมีสเตรปตอนส์ เป็นไปตามกราฟรูปที่ 10.6 อีกด้วย



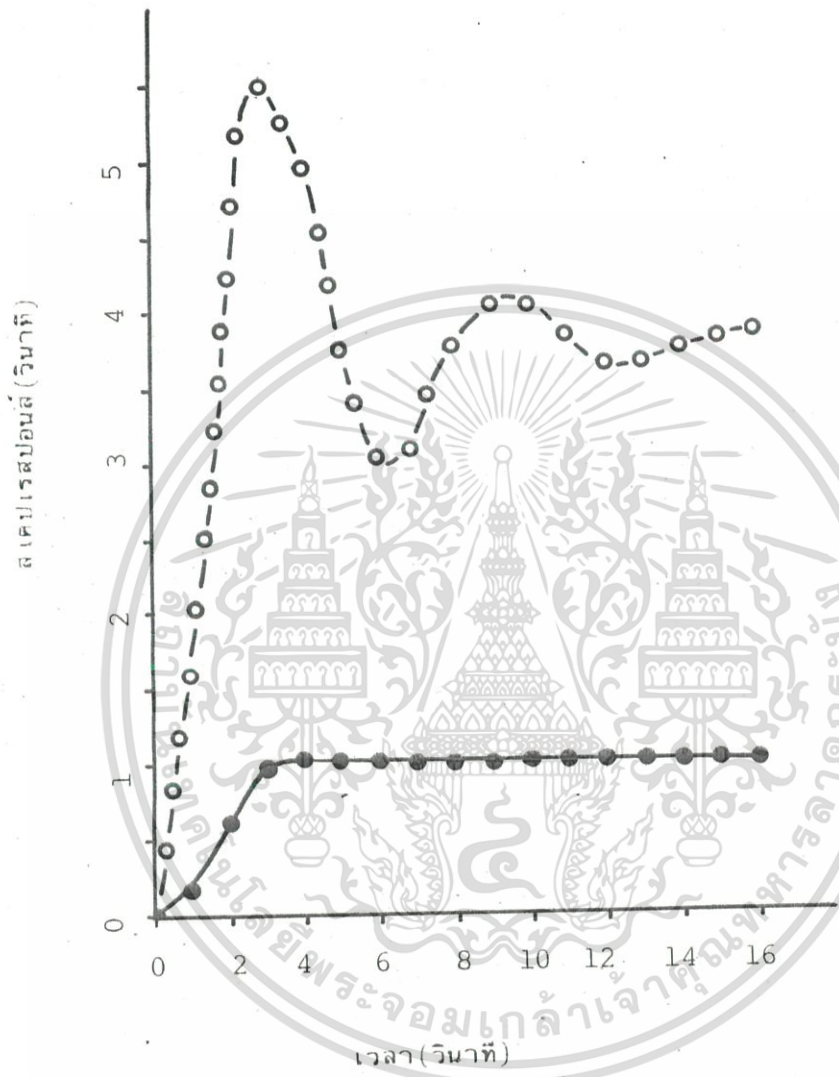
รูปที่ 10.4 การตอบสนองของขนาด

- ค่าเริ่มต้น
- ค่าที่ต้องการและค่าสุดท้าย



รูปที่ 10.5 การตอบสนองเฟส

- - ค่าเริ่มต้น
- - ค่าที่ลดลงและค่าสุดท้าย



รูปที่ 10.6 สเตปเปอร์ซอนส์นอร์มอล

○-○-○-○-○ ค่าเริ่มต้น

●-●-●-●-● ค่าที่ต้องการและค่าสุดท้าย

เมื่อเลือกทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ดังนี้ คือ

$$T(X, \omega) = \frac{X_1 S + X_2}{(S+X_3)^2 + X_4^2} \quad \left| \quad S = j\omega \right. \quad (10.7)$$

นอกจาก $D_1(\omega)$, $D_2(\omega)$ และ $R_1(X, \omega)$, $R_2(X, \omega)$ จะเป็นข้อกำหนดและผลตอบสนองที่คำนวณได้จาก $T(X, \omega)$ ของขนาดและเฟสในโดเมนของความถี่ตามลำดับแล้ว ในกรณีนี้จะได้อีกว่า $D_3(t)$ และ $R_3(X, t)$ เป็นข้อกำหนดและผลตอบสนองจากการประมาณฟังก์ชันของสเปกตรัมที่อยู่ในโดเมนของเวลาตามลำดับ

จากสมการที่ (10.7) จะคำนวณได้ว่า [14]

$$R_1(X, \omega) = 10 \log_{10} (X_1^2 + X_2^2 + \omega^2) - 10 \log_{10} \left[(X_3^2 + X_4^2 - \omega^2)^2 + (2\omega X_3)^2 \right] \text{ (dB)} \quad (10.8)$$

$$R_2(X, \omega) = \tan^{-1} \left(\frac{2\omega X_3}{X_3^2 + X_4^2 - \omega^2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\omega X_1}{X_2} \right) \quad \text{(เรเดียน/วินาที)} \quad (10.9)$$

และ

$$R_3(X, t) = e^{-X_3 t} \sin X_4 t \left[\frac{X_1 X_3^2 + X_1 X_4^2 - X_2 X_3}{X_4 (X_3^2 + X_4^2)} \right] + \frac{X_2}{(X_3^2 + X_4^2)} \left[1 - e^{-X_3 t} \cos X_4 t \right] \quad \text{(วินาที)} \quad (10.10)$$

ตามลำดับ เมื่อ $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)^T$ เป็นเวกเตอร์พารามิเตอร์ของการประมาณฟังก์ชัน

ฟังก์ชันประเมิณผลที่เลือกใช้ในการประมาณฟังก์ชันในตัวอย่างนี้ คือ

$$Q_1(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{21} \left[D_1(\omega_i) - R_1(X, \omega_i) \right]^2 \quad (10.11)$$

$$Q_2(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{11} \left[D_2(\omega_i) - R_2(X, \omega_i) \right]^2 \quad (10.12)$$

และ $Q_3(X, t_i) = \sum_{i=1}^{16} \left[D_3(t_i) - R_3(X, t_i) \right]^2 \quad (10.13)$

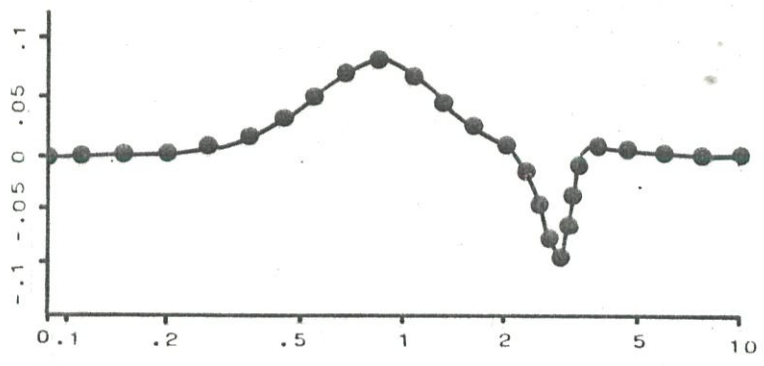
ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์	X_1	X_2	X_3	X_4
ค่าเริ่มต้น	0.0025	4.00	0.50	1.00
ค่าสุดท้าย	1.79×10^{-6}	1.002	0.7176	0.6973

ตาราง 10.2

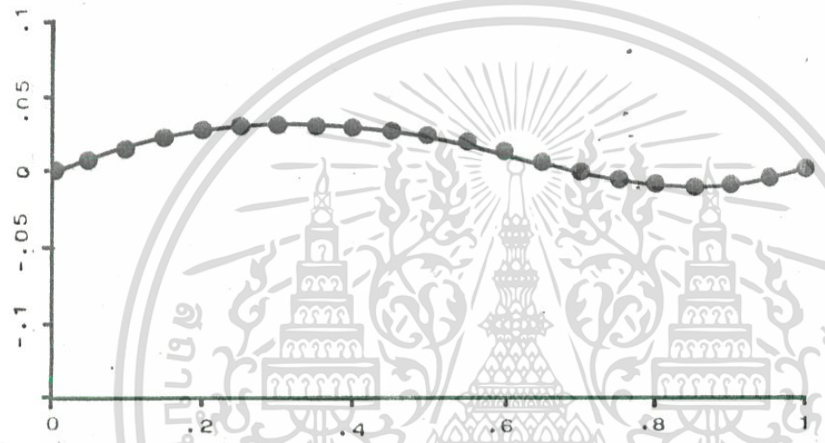
จากค่าเริ่มต้นที่แสดงในตารางที่ 10.2 จะได้ผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชันตามข้อกำหนดทั้งสาม เป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 10.4, 10.5 และ 10.6 ตามลำดับ หลังจากที่ได้ทำการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีที่เสนอใหม่นี้ ไปจนจบวนการประมาณฟังก์ชันจบสิ้นลง จะได้ผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชันดังที่แสดงในรูปที่ 10.4, 10.5 และ 10.6 ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อกำหนดที่ต้องการมาก และค่าผิดพลาดของการออกแบบนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10.7

ค่าผิดพลาดของขนาด (dF)



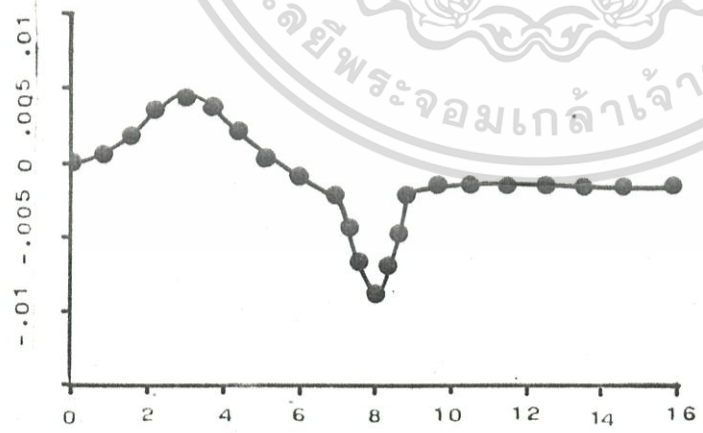
ω (เรเดียน/วันาที)

ค่าผิดพลาดของเฟส (เรเดียน)



ω (เรเดียน/วันาที)

ค่าผิดพลาดของสเปกตรัม (วินาที)



เวลา (วินาที)

รูปที่ 10.7 ค่าผิดพลาดของการประมาณฟังก์ชัน

สำหรับค่าพารามิเตอร์สุดท้ายของการประมาณฟังก์ชัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10.2

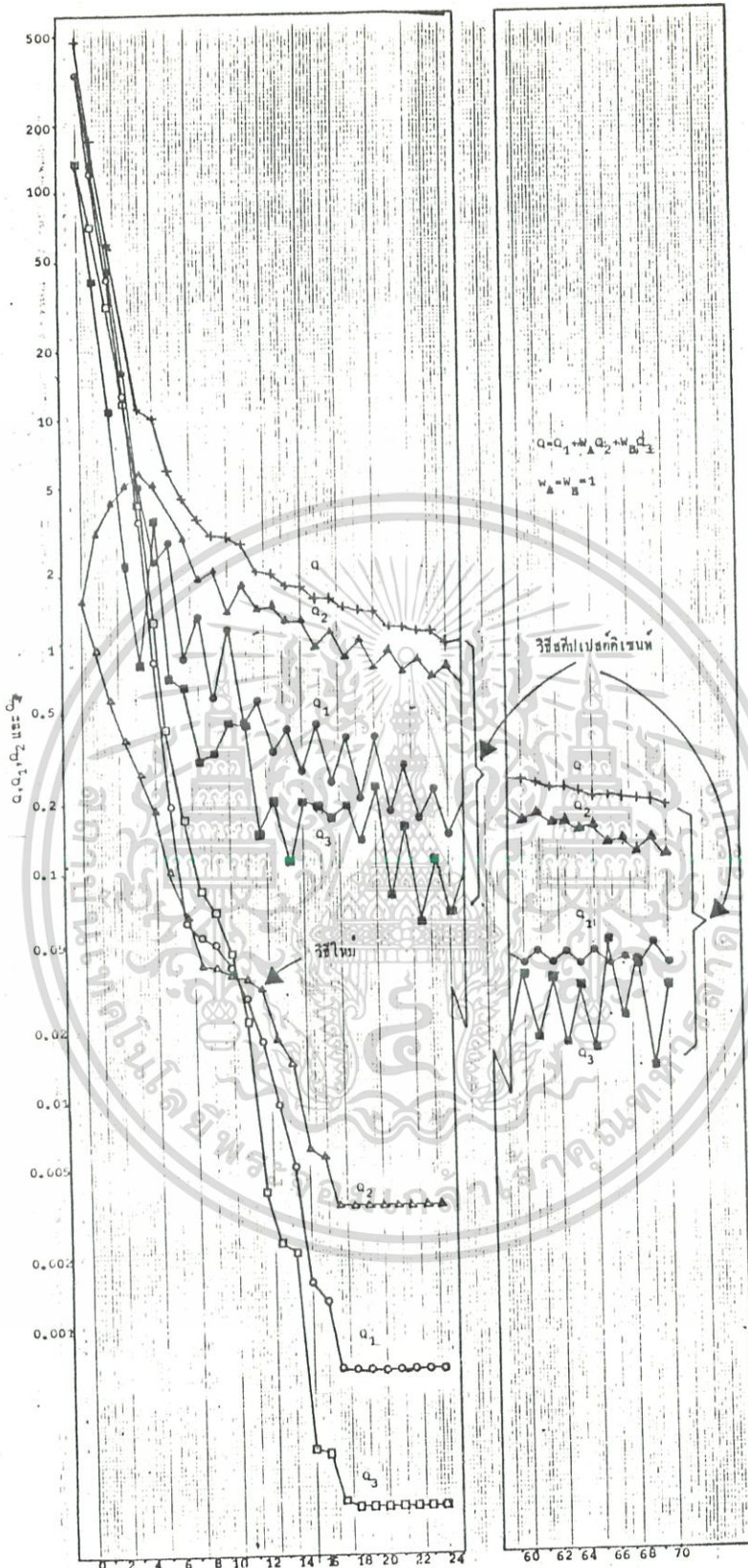
ในการเปรียบเทียบถึง เสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลกับวิธีการแบบ เดิม ได้เลือกวิธีสตีป เปสดีติ เซนต์ เป็นตัวแทน เช่น เดิม ได้ทำในลักษณะ เดียวกับการทดลองในตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ฟังก์ชันประเมิณผลร่วม เป็นดังสมการที่ (10.14) คือ

$$Q = Q_1 + W_A Q_2 + W_B Q_3 \quad (10.14)$$

เมื่อเลือกสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ $W_A = W_B = 1$

และ เมื่อได้ทำการทดลองประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีสตีป เปสดีติ เซนต์นี้โดยอาศัยพารามิเตอร์ เริ่มต้นค่าเดียวกับค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีที่ เสนอใหม่จะได้ผลลัพธ์ของการ เปรียบเทียบดังที่ แสดงไว้ในรูปที่ 10.8





รูปที่ 10.8 ลักษณะการลดลงของฟังก์ชันประเมิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากรูปที่ 10.8 จะเห็นว่าการใช้วิธีประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีที่เสนอใหม่ทำการประมาณฟังก์ชันไปเพียง 24 ครั้ง ขบวนการประมาณฟังก์ชันก็จบสิ้นลงและให้ผลลัพธ์ที่มีค่าของฟังก์ชันประเมิณผล แต่ละตัวต่ำกว่าฟังก์ชันประเมิณผลที่ได้จากการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีสตีป เปสดีดี เช่นที่ทำการประมาณฟังก์ชันมาแล้วถึง 70 ครั้งมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาฟังก์ชันประเมิณผลที่ได้จากการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีสตีป เปสดีดี เช่นที่ จะเห็นว่าค่าของมันในแต่ละฟังก์ชันมีอัตราการลดลงน้อยมาก ดังนั้นการที่จะทำให้ค่าฟังก์ชันประเมิณผลมีค่าลดลงมาอยู่ในระดับเดียวกับค่าที่ได้จากวิธีการใหม่ อาจต้องใช้เวลาก่อการประมาณฟังก์ชันต่อไปอีกนานมาก หรืออาจไม่สามารถทำได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากการขาดเสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผล ด้วยสาเหตุที่กล่าวไว้ในบทที่ 5

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลของวิธีใหม่นี้ยังคงดีกว่าวิธีการแบบ เดิมซึ่งใช้ฟังก์ชันประเมิณผลรวมมาก

จากตัวอย่างของการทดลอง 2 ตัวอย่างที่ได้แสดงมาแล้วในข้างต้น ย่อมเป็นที่ยืนยันได้ว่าวิธีการประมาณฟังก์ชัน หลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันที่ได้เสนอใหม่นี้เป็นวิธีที่ให้เสถียรภาพของการลดลงของฟังก์ชันประเมิณผลดีกว่าวิธีการที่มีใช้อยู่เดิมโดยทั่วไปดังที่คาดหมายไว้ ต่อไปนี้จะขอทำตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการนำวิธีการประมาณฟังก์ชันที่เสนอนี้ไปประยุกต์ใช้งานในการช่วยออกแบบระบบหรือเพื่อช่วยประยุกต์ใช้ในงานการปรับปรุงผลลัพธ์จากการออกแบบด้วยวิธีการที่ได้มีการเสนอไว้แล้วโดยทั่วไปให้ดีขึ้น ในการทดลองสองตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นอย่างแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันที่เสนอให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ ดิจิตอลแมรี่เคอร์สส์ (Recursive Digital Filter) และการสังเคราะห์ที่กระสวนของสายอากาศ (Pattern Synthesis) ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 Chottera และผู้ร่วมงานได้แสดงวิธีการออกแบบวงจรกรองความถี่ดิจิตอล แมรี่เคอร์สส์ โดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหา[15] เพื่อให้ได้การตอบสนองขนาดและกรุปดีเลย์ (Group Delay) ตามที่กำหนดให้ ในวิธีการนี้ จะต้องตั้งเงื่อนไขไว้ว่ากรุปดีเลย์จะต้องมีค่าคงที่ตลอดย่านของความถี่ที่ใช้งาน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของ Chottera และผู้ร่วมงานซึ่งได้บันทึกไว้ในรายงานการวิจัยของเขา [15] ว่าการตอบสนองขนาดในย่าน ของความถี่ที่ใช้งานให้ผลดีเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นบริเวณขอบแบนด์ (Band Edge) จะมีความผิดพลาดมาก ดังนั้นจึงทำให้ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสนใจขึ้นว่าถ้าจะใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันที่ได้เสนอใหม่นี้มาทำการประมาณฟังก์ชันเพื่อปรับปรุงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านต่อจากผลลัพธ์ของการออกแบบในตัวอย่างที่ 1 ของ Chottera และผู้ร่วมงาน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของวิธีการประมาณฟังก์ชันนี้ จากพารามิเตอร์สุดท้ายที่ได้จากวิธีการของ Chottera และผู้ร่วมงานดังที่แสดงในตาราง 10.3

ในการประมาณฟังก์ชันได้ตั้งข้อกำหนด เช่นเดียวกับกับข้อกำหนดของ Chottera และผู้ร่วมงาน กล่าวคือ กำหนด ให้นำให้มีการตอบสนองขนาด เป็นไปตามข้อกำหนดของสมการ (10.15) คือ

$$D_1(\omega) = 1.0 \quad 0 \leq \omega \leq 0.5\pi$$

$$D_1(\omega) = \frac{e^{-186.6 (0.5\pi - \omega)^2}}{e^{-186.6 (0.5\pi - \omega)^2}} \quad 0.5\pi \leq \omega \leq \pi$$
(10.15)

และให้มีกรุปดีเลย์คงที่เท่ากับ 15 วินาที ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน ดังแสดงในสมการ (10.16) คือ

$$D_2(\omega) = 15 \text{ วินาที} \quad 0 \leq \omega \leq 0.5\pi$$
(10.16)

โดยให้มีทรานซิชันแบนด์ (Transition Band) เท่ากับ 0.05π และมีการตอบสนองขนาดที่ความถี่เกินกว่า 0.55π ต่ำกว่า - 40 dB

ในที่นี้ทรานสเฟออร์ฟังก์ชันที่ใช้ได้กำหนด เหมือนของที่ใช้ในรายงานของ Chottera และผู้ร่วมงาน คือ

$$T(z) = \frac{a_0 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_{18}z^{18}}{1 + b_1z + b_2z^2 + \dots + b_{18}z^{18}}$$
(10.17)

โดยที่ $z = e^{-j\omega}$ และ ω เป็นความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)

จากสมการ (10.17) สามารถทำการจัดสมการในลักษณะต่อไปนี้ได้

$$T(j\omega) = \frac{\sum_{i=0}^{18} a_i (\cos i\omega - j \sin i\omega)}{\sum_{i=0}^{18} b_i (\cos i\omega - j \sin i\omega)} \quad ; b_0 = 1 \quad (10.18)$$

(ในกรณีนี้ j เป็นตัวแสดงค่าจินตภาพ (Imaginary Value))

จากนี้ขนาดและกรูฟดีเลย์ของ $T(j\omega)$ จะหาได้ดังแสดงในสมการ (10.19) และ (10.20)

ตามลำดับ ดังต่อไปนี้ คือ

$$R_1(X, \omega) = \left[\frac{\left(\sum_{i=0}^{18} a_i \cos i\omega \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{18} a_i \sin i\omega \right)^2}{\left(\sum_{i=0}^{18} b_i \cos i\omega \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{18} b_i \sin i\omega \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10.19)$$

$$R_2(X, \omega) = \frac{\left[\sum_{i=0}^{18} -a_i \sin i\omega \sum_{i=1}^{18} -ia_i \sin i\omega \right] - \left[\sum_{i=0}^{18} a_i \cos i\omega \sum_{i=1}^{18} -ia_i \cos i\omega \right]}{\left(\sum_{i=0}^{18} -a_i \sin i\omega \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{18} a_i \cos i\omega \right)^2}$$

$$- \frac{\left[\sum_{i=0}^{18} -b_i \sin i\omega \sum_{i=1}^{18} -ib_i \sin i\omega \right] - \left[\sum_{i=0}^{18} b_i \cos i\omega \sum_{i=1}^{18} -ia_i \cos i\omega \right]}{\left(\sum_{i=0}^{18} -b_i \sin i\omega \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{18} b_i \cos i\omega \right)^2}$$

(วินาที) (10.20)

หมายเหตุ เฉพาะในตัวอย่างนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ในการประมาณฟังก์ชันเป็น $X =$

$(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{18}, 1, b_1, b_2, \dots, b_{18})^T$ เพื่อให้รูปสมการไม่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จนเกินไป

สัมประสิทธิ์ของวงจรวงศาความถี่ผ่านคจคอดนแบบวี เคอร์สีพี

วิธีของCHOTIERAและผู้ร่วมงาน	วิธีใหม่	
a ₀	-0.1432080E-01	-0.1102218D-01
a ₁	-0.5112606E-02	-0.8290153D-02
a ₂	+0.7836282E-02	+0.4537655D-02
a ₃	+0.1640602E-03	+0.2500731D-02
a ₄	-0.7434126E-02	-0.4959042D-02
a ₅	+0.9662641E-04	-0.1260029D-02
a ₆	+0.9584092E-02	+0.8088144D-02
a ₇	-0.7479091E-03	+0.1432289D-02
a ₈	-0.1397011E-01	-0.1392766D-01
a ₉	+0.3254443E-02	+0.1074245D-02
a ₁₀	+0.2178770E-01	+0.2092171D-01
a ₁₁	-0.7424634E-02	-0.4840900D-02
a ₁₂	-0.4565689E-01	-0.4479090D-01
a ₁₃	+0.2152715E-01	+0.1894342D-01
a ₁₄	+0.2102609E+00	+0.2093950D+00
a ₁₅	+0.3753272E+00	+0.3787642D+00
a ₁₆	+0.3734605E+00	+0.3737500D+00
a ₁₇	+0.2242485E+00	+0.2232770D+00
a ₁₈	+0.7485878E-01	+0.7653424D-01
b ₀	+0.1000000E+01	+0.1000000D+01
b ₁	-0.6491873E+00	-0.6454600D+00
b ₂	+0.1435216E+01	+0.1434370D+01
b ₃	-0.1099716E+01	-0.1103033D+01
b ₄	+0.1045841E+01	+0.1046549D+01
b ₅	-0.9376680E+00	-0.9345049D+00
b ₆	+0.8552690E+00	+0.8545611D+00
b ₇	-0.7573233E+00	-0.7585407D+00
b ₈	+0.6380558E+00	+0.6387637D+00
b ₉	-0.5249142E+00	-0.5231003D+00
b ₁₀	+0.4302391E+00	+0.4290717D+00
b ₁₁	-0.3424158E+00	-0.3442199D+00
b ₁₂	+0.2544858E+00	+0.2562802D+00
b ₁₃	-0.1764883E+00	-0.1754980D+00
b ₁₄	+0.1174653E+00	+0.1158307D+00
b ₁₅	-0.7412956E-01	-0.7511991D-01
b ₁₆	+0.3978608E-01	+0.4222090D-01
b ₁₇	-0.1508292E-01	-0.1542121D-01
b ₁₈	+0.2864426E-02	-0.2537588D-02

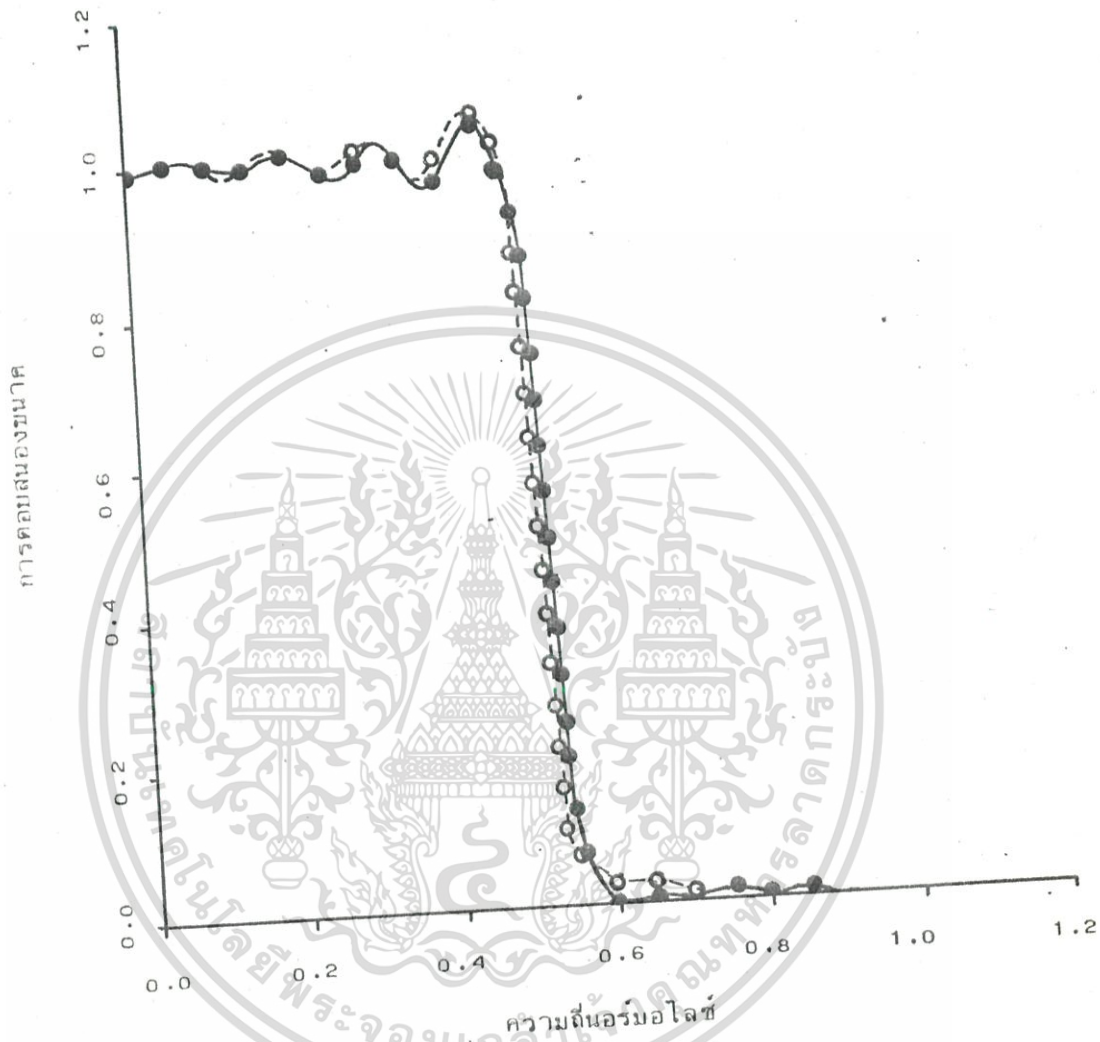
ในการทดลองนี้ได้ใช้ฟังก์ชันประเมินผลตามสมการ (10.21) และ (10.22) ตามลำดับต่อไปนี้

$$Q_1(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{81} \left[D_1(\omega_i) - R_1(X, \omega_i) \right]^{10} \quad (10.21)$$

$$Q_2(X, \omega_i) = \sum_{i=1}^{81} \left[D_2(\omega_i) - R_2(X, \omega_i) \right]^{10} \quad (10.22)$$

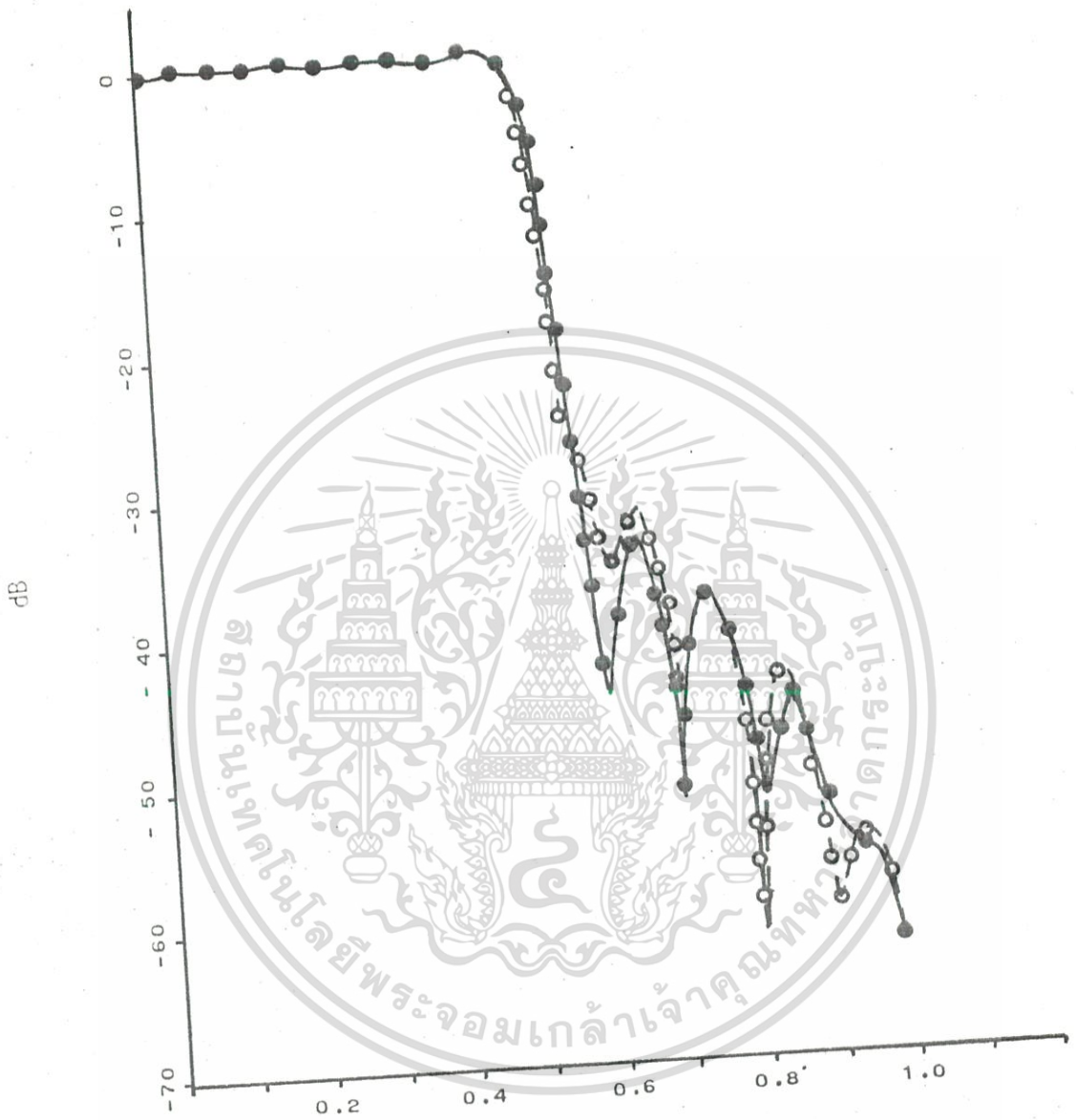
การเลือกฟังก์ชันประเมินผลดังสมการ (4.7) เพราะเหตุผลว่าเมื่อใช้ค่า P ที่มีค่ามากขึ้นแล้ว ช่วงการกระเพื่อมของค่าผิดพลาดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4

จากค่าพารามิเตอร์สุดท้ายของการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีการของ Chottera และผู้ร่วมงาน ได้นำมาใช้เป็นพารามิเตอร์เริ่มต้นในการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีที่เสนอใหม่เมื่อได้ทำการประมาณฟังก์ชันไปจนจบวนการประมาณฟังก์ชันจนจบสิ้นลง จะได้พารามิเตอร์ของการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีใหม่ดังแสดงในตาราง 10.3 และได้ผลลัพธ์ของขนาดของ $T(j\omega)$, ขนาดของ $T(j\omega)$ ในหน่วย dB และกรูทดีเสย์ ดังแสดงในรูปที่ 10.9, 10.10 และ 10.11 ตามลำดับ สำหรับค่าผิดพลาดของการประมาณฟังก์ชันที่ได้จากวิธีการทั้งสองได้แสดง เปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 10.12



รูปที่ 10.9 การตอบสนองขนาด

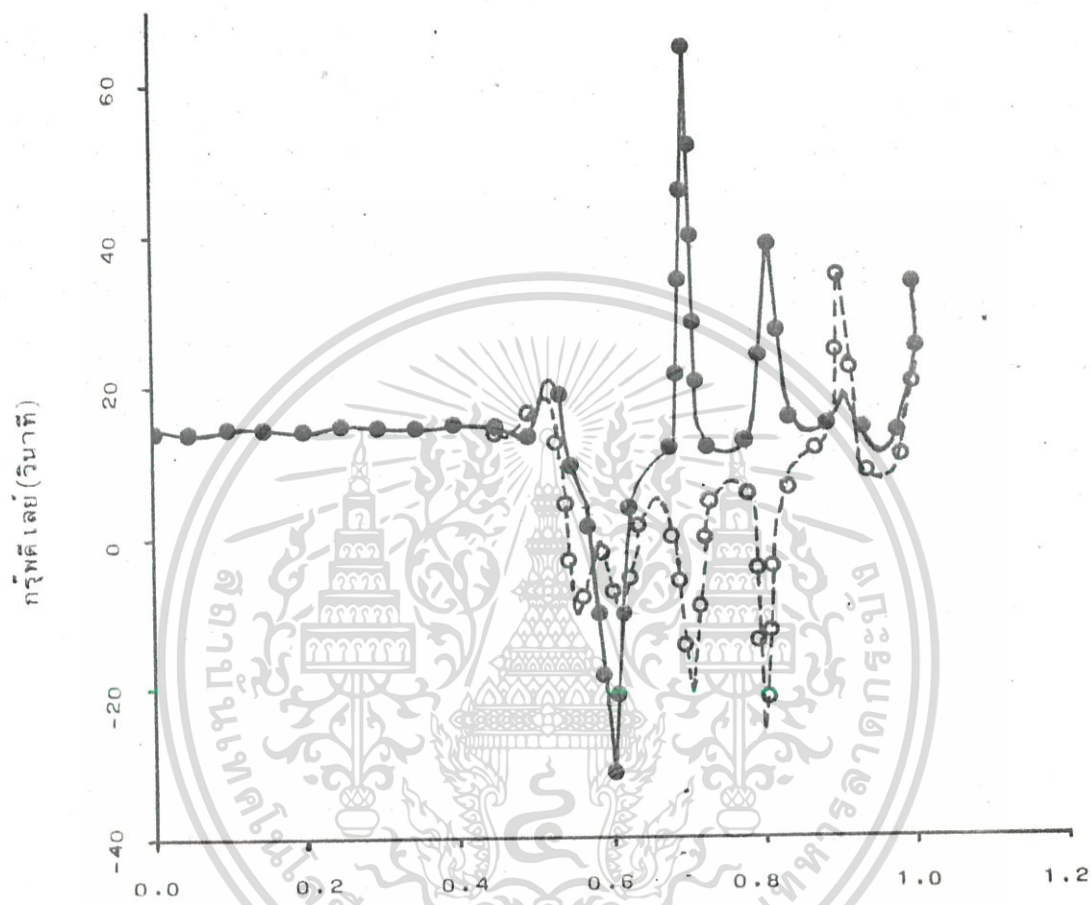
- วิธีของCHOTTERAและผู้ร่วมงาน
- วิธีใหม่



ความถี่ออร์มอล

รูปที่ 10.10 การตอบสนองขนาดเป็น dB

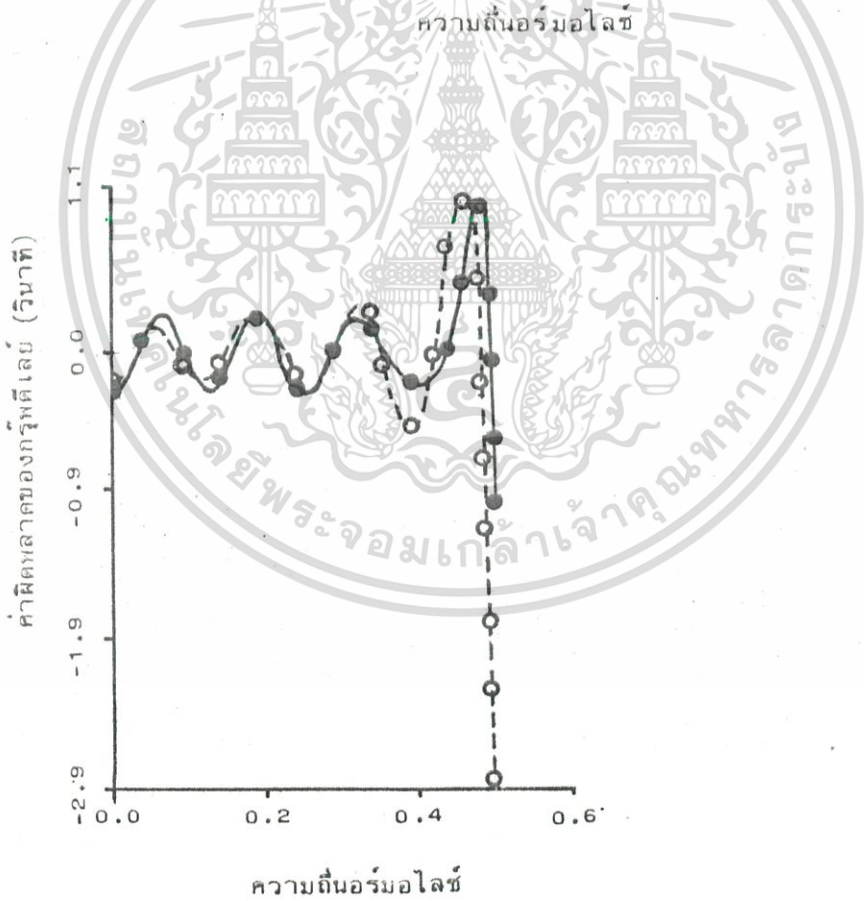
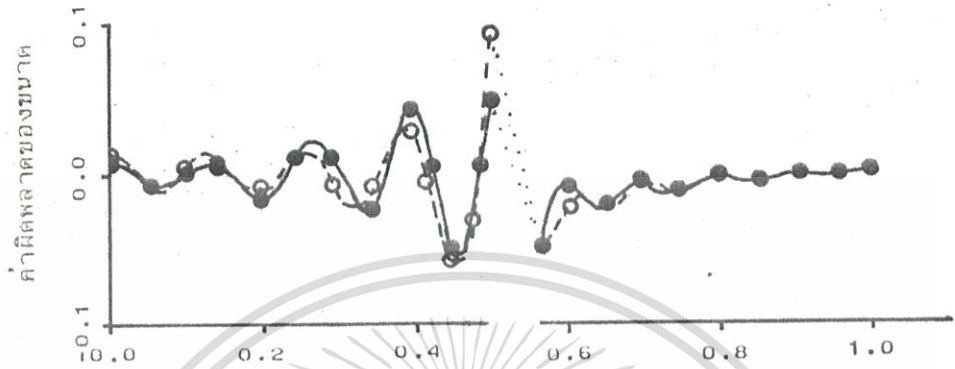
- วิธีของ CHOTTERA และผู้ร่วมงาน
- วิธีใหม่



ความถี่ออร์มอลิซ

รูปที่ 10.11 กรุปดี เลข

- วิธีของCHOTTERAและผู้ร่วมงาน
- วิธีใหม่



รูปที่ 10.12 ค่าผิดพลาดของการประมาณฟังก์ชัน

○ ○ ○ ○ ○ วิธีของ CHOTTERA และผู้ร่วมงาน

● ● ● ● ● วิธีใหม่

จากรูปที่ 10.9 จะเห็นว่า เมื่อได้ทำการประมาณฟังก์ชันตามวิธีที่ได้เสนอไปช่วยในการปรับค่าพารามิเตอร์ ต่อจากวิธีการของผลลัพท์ของ Chottera และผู้ร่วมงานแล้ว จะสามารถปรับรูปร่างของ $T(j\omega)$ ตรงบริเวณขอบแบนด์ ให้ใกล้เคียงกับข้อกำหนดได้มากขึ้น และในรูปที่ 10.10 ก็จะได้เห็นว่า ขนาดของ $T(j\omega)$ ที่ความถี่เกินกว่า 0.55π มีค่าต่ำกว่าขนาดของ $T(j\omega)$ ที่ได้จากวิธีการของ Chottera และผู้ร่วมงานเป็นส่วนใหญ่ (หมายความว่าผลลัพท์ใกล้เคียงกับข้อกำหนดเพิ่มขึ้น) ในทำนองเดียวกันก็จะเห็นว่ากรูทึลเลี่ยของ $T(j\omega)$ ที่ได้จากผลลัพท์ของการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีใหม่ได้รับการปรับปรุงให้ตรงบริเวณขอบแบนด์มีการตอบสนองความถี่ที่ใกล้เคียงกับข้อกำหนดมากขึ้น ดังแสดงในรูป 10.11 ซึ่งจะเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อดูจากกราฟแสดงค่าผิดพลาดทั้งสองในรูป 10.12

ในกราฟรูป 10.12 จะเห็นได้ว่าแม้ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีที่เสนอใหม่จะมีค่ามากกว่าค่าที่เกิดจากวิธีของ Chottera และผู้ร่วมงานในบางความถี่ก็ตามแต่ค่าสูงสุดของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในย่านของความถี่ที่ใช้งาน (0 ถึง 0.5π) จะมีค่าต่ำกว่า ค่าผิดพลาดสูงสุดที่เกิดจากวิธีการของ Chottera และผู้ร่วมงาน

อนึ่งในการออกแบบวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบรีเคอร์ซีฟของ Chottera และผู้ร่วมงานนี้ จะทำได้ เมื่อต้องตั้งเงื่อนไขว่า กรูทึลเลี่ยจะต้องมีค่าคงที่เสมอ ซึ่งโดยปกติการที่มีกรูทึลเลี่ยคงที่เช่นนี้ก็เป็นที่ต้องการในการใช้งานทั่วไป แต่ในงานบางอย่างเช่น วงจรกรองความถี่อินเตอร์มีเดียท (Intermediate Frequency) ของสัญญาณภาพโทรทัศน์ การตอบสนองทางด้านขนาดจะไม่อยู่ในลักษณะที่สมมาตร (Symmetry) และกรูทึลเลี่ยจะไม่มีค่าคงที่ในช่วงของความถี่ที่ใช้งาน [16] ดังนั้นการจะนำวิธีการของ Chottera และผู้ร่วมงานดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณภาพ เช่นนี้จะไม่สามารถทำได้ ซึ่งในกรณีเช่นนี้สามารถใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันที่เสนอใหม่นี้ช่วยทำงานได้ทั้งนี้ เพราะในวิธีการประมาณฟังก์ชันที่เสนอใหม่นี้จะทำการประมาณฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน เกือบจะเป็นอิสระจากกันได้ โดยไม่ต้องคำนึงถึงฟังก์ชันประ เณินผลหนึ่งว่าจะส่งอิทธิพลมาเป็นข้อกำหนดของฟังก์ชันประ เณินผลอื่นมากนัก

การทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองสุดท้ายที่จะเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการ
สังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สายอากาศ (Array Antenna) เชิงเส้น [17]

ก่อนที่จะกล่าวถึงการทดลอง จะขอกล่าวถึงคำจำกัดความที่สำคัญที่ใช้เกี่ยวกับการสังเคราะห์
กระสวนของสายอากาศ ดังนี้

1. ค่าทวีกำลัง (Gain) ในเรื่องเกี่ยวกับการสังเคราะห์กระสวนสายอากาศค่าทวี
กำลังหมายถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นของกำลังงาน (Power Density) ในทิศทางที่อาร์เรย์
สายอากาศสามารถส่ง (หรือรับ) สัญญาณได้แรงที่สุดในทิศทางของบีมหลัก (Main Beam) ต่อความ
หนาแน่นของกำลังงานเฉลี่ยที่อาร์เรย์สายอากาศนั้นใช้ส่ง (หรือรับ) สัญญาณ

2. ระดับของโลบข้าง (Side Lobe Level; SLL) หมายถึงอัตราส่วนของค่าสูงสุด
ของขนาดโลบข้างต่อขนาดของค่าสูงสุดของบีมหลัก ซึ่งปกติมักจะแสดงในหน่วย dB

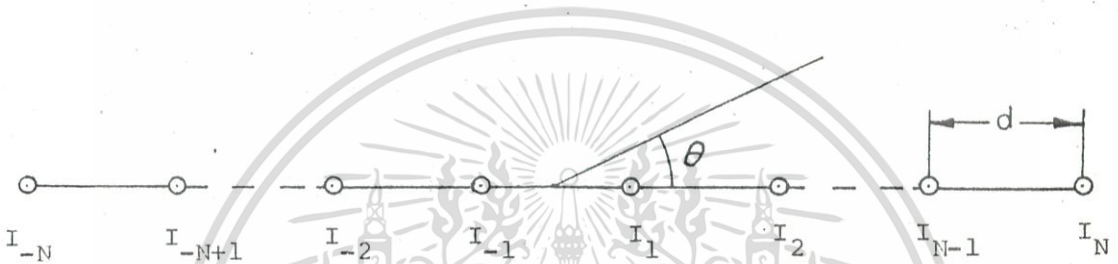
คำจำกัดความทั้งสองนี้จะใช้เพื่อกำหนดข้อกำหนดในการสังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สาย
อากาศโดยทั่วไป ซึ่งมักจะต้องการสังเคราะห์กระสวนให้อาร์เรย์สายอากาศมีค่าทวีกำลังสูงและ
ระดับของโลบข้างต่ำ เพื่อให้อาร์เรย์สายอากาศนั้นมีการส่ง (หรือรับ) สัญญาณได้ดีที่สุดในทิศทาง
ที่ต้องการ กล่าวคือในทิศทางของบีมหลักหรือกันนั้นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ให้มีการส่ง (หรือรับ)
สัญญาณก็จะได้มีการส่ง (หรือรับ) สัญญาณได้น้อยที่สุด

การสังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สายอากาศนี้ อาจทำได้ด้วยการปรับขนาด หรือ
การปรับเฟส หรือปรับทั้งขนาดและเฟสของกระแสที่ไหลเข้า (หรือออกจาก) สายอากาศแต่ละตัว
[17]

ในการทดลองนี้จะทำการประมาณฟังก์ชันเพื่อช่วยในการสังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์
สายอากาศ เชิงเส้นที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว เท่ากันโดยวิธีการปรับขนาดของกระแส
ที่ไหลเข้า (หรือออกจาก) สายอากาศแต่ละตัว

ในกรณีที่มีการป้อน (Feed) สายอากาศแบบสมมาตรให้อาร์เรย์สายอากาศ เชิงเส้นที่มี
สายอากาศทั้งหมด $2N$ ตัว แต่ละตัววางห่างกันด้วยระยะทาง d (ดูรูป 10.13) เมื่อกำหนด

ให้กระสวนของสายอากาศเป็น $F(u)$ และค่าทริกกำลังเป็น D โดยที่มุมที่ทำการสังเกตที่ถูกลบอร์มอไลซ์ (Observation Angle) u มีค่าเท่ากับ $kd \cos\theta$ (ในที่นี้ k คือค่าคงที่ของเฟสมีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$; λ คือความยาวคลื่น)



รูปที่ 10.13 อาร์เรย์สายอากาศเชิงเส้นที่มีสายอากาศ $2N$ ตัว

$$F(u) = 20 \log_{10} \left| \frac{2 \sum_{n=1}^N I_n \cos \frac{2n-1}{2} u}{2 \sum_{n=1}^N I_n} \right| \quad (\text{dB}) \quad (10.23)$$

เมื่อ I_n เป็นขนาดของกระแสที่ป้อนให้สายอากาศตัวที่ n

$$D = \frac{2kd |F(0)|^2}{\int_{-kd}^{kd} |F(u)|^2 du}$$

$$= \frac{kd |F(0)|^2}{2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N C_{nm} I_n I_m} \quad (10.24)$$

เมื่อ $C_{nm} = \int_{-kd}^{kd} \cos \frac{2n-1}{2} u \cos \frac{2m-1}{2} u du$

$$= \frac{\sin (n+m-1) kd}{n+m-1} + \frac{\sin (n-m) kd}{n-m} \quad (n \neq m)$$

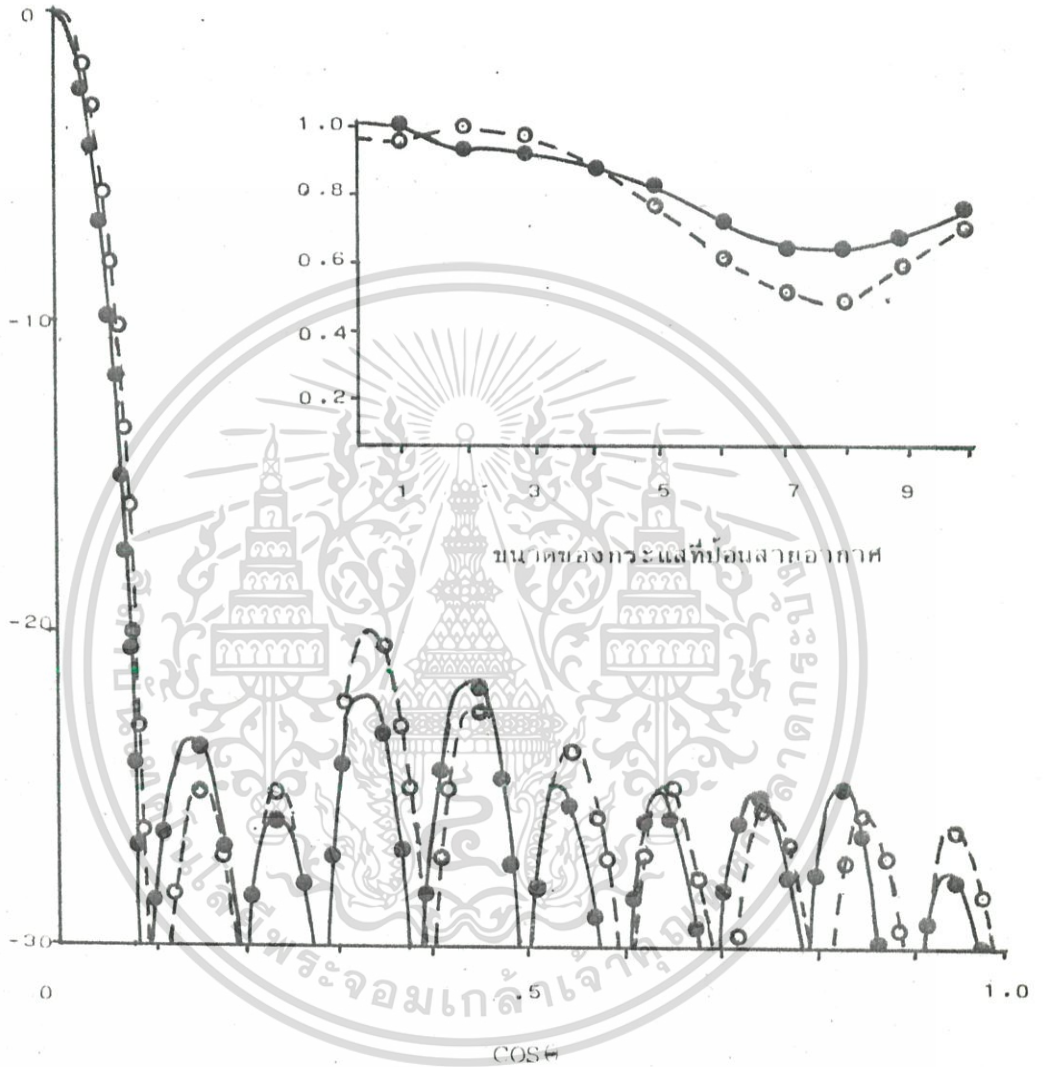
$$C_{nn} = kd + \frac{\sin (2n-1) kd}{2n-1} \quad (n = m)$$

เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศ d มีค่าเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots$

ค่าทวิกำลังจะมีสูตร เป็น

$$D = 10 \log_{10} \left[\frac{2 \sum_{n=1}^N I_n^2}{2 \sum_{n=1}^N (I_n)^2} \right] \quad (\text{dB}) \quad (10.25)$$

จากการทดลองของ Tokumaru และผู้ร่วมงาน [19] ซึ่งทำการสังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สายอากาศที่มีจำนวนสายอากาศ 20 ตัว และแต่ละตัววางห่างกัน $\lambda/2$ ได้กระสวนและขนาดของกระแสที่บ่อนสายอากาศแต่ละตัว ดังแสดงในรูป 10.14 (เส้นประ) ซึ่งมีค่าทวิกำลังเท่ากับ 12.695 dB และมีระดับของโลบข้างเท่ากับ -20dB



ขนาดของกระแสที่ป้อนสายอากาศ

รูปที่ 10.14 กระสวนและขนาดของกระแสที่ป้อนอาร์เรย์สายอากาศ

○-○-○-○-○ วิธีของ TOKUNARI และผู้ร่วมงาน

ค่าทวีกำลัง = 12.695 dB

●-●-●-●-● วิธีใหม่

ค่าทวีกำลัง = 12.72 dB

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาร์เรย์สายอากาศนี้ให้มีค่าทวีกำลังสูงขึ้นและมีระดับของ
 โลบข้างต่ำกว่าระดับที่ได้จากผลการทดลองของ Tokumaru และผู้ร่วมงานได้ใช้ขนาดของกระแส
 ที่ป้อนสายอากาศจากผลลัพธ์จากรายงานของ Tokumaru และผู้ร่วมงาน [19] ที่แสดงในรูป
 10.14 มาเป็นพารามิเตอร์เริ่มต้นของการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีที่เสนอใหม่

โดยใช้ฟังก์ชันประเมินผลตามลักษณะของสมการ (4.9) คือ

$$Q_1(X, u_i) = \sum_{i=1}^{100} \exp \left[R_1(X, u_i) - D_1(u_i) \right] \quad (10.26)$$

กับการประมาณฟังก์ชันของกระแสนของสายอากาศ เมื่อกำหนดให้ระดับของโลบข้าง เป็น

$D_1(u_i) = -22 \text{ dB}$ และใช้ฟังก์ชันประเมินผลตามสมการ (10.27) ดังนี้คือ

$$Q_2(X, u) = \left[D_2(u) - R_2(X, u) \right]^2 \quad (10.27)$$

กับการประมาณฟังก์ชันของค่าทวีกำลัง (คิดที่ u ซึ่งมีผลกมิตค่าสูงสุด) ซึ่งกำหนดให้ $D_2(u) = 12.72 \text{ dB}$

จากสมการ (10.23) เมื่อแทน I_n ด้วย X_n จะได้

$$R_1(X, u) = 20 \log_{10} \left| \frac{\sum_{n=1}^N X_n \cos \frac{2n-1}{2} u}{\sum_{n=1}^N X_n} \right| \quad (\text{dB}) \quad (10.28)$$

และ

$$R_2(X, u) = 10 \log_{10} \left[\frac{(2 \sum_{n=1}^N X_n)^2}{2 \sum_{n=1}^N (X_n)^2} \right] \quad (\text{dB}) \quad (10.29)$$

เมื่อทำการประมาณฟังก์ชันไป 6 ครั้ง จะได้ผลลัพธ์ของการประมาณฟังก์ชันเพื่อการ
สังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สายอากาศที่ได้ระดับของโลบข้างต่ำกว่า -22 dB และมีค่าทวี
กำลัง 12.72 dB ซึ่งกราฟแสดงกระสวนและขนาดของกระแสนที่ป้อนสายอากาศที่ได้จากการ
ประมาณฟังก์ชันนี้ ได้แสดงไว้ในรูป 10.14 (เส้นทึบ)

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วิธีประมาณฟังก์ชันที่ได้เสนอใหม่นี้มาทำการช่วยการสังเคราะห์กระสวน
ของอาร์เรย์สายอากาศต่อจากวิธีการสังเคราะห์กระสวนของ Tokumaru และผู้ร่วมงานแล้วจะ
สามารถปรับปรุงให้สายอากาศนี้มีคุณสมบัติดีขึ้นอีก กล่าวคือมีค่าทวีกำลังสูงขึ้นและมีระดับของโลบ
ข้างต่ำลง ซึ่งเป็นที่พึงปรารถนาในการสังเคราะห์กระสวนของอาร์เรย์สายอากาศโดยทั่วไปได้
เป็นอย่างดี



บทที่ 11

สรุป และ วิจาร์ณ

ได้มีการกล่าวถึงความเป็นมาของการประมาณฟังก์ชันที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันโดยสังเขป ซึ่งในวิธีการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันพร้อม ๆ กันที่มีมาแต่เดิมจะรวมฟังก์ชันประ เหมินผลของฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ต้องการประมาณฟังก์ชัน เข้า เป็นฟังก์ชันประ เหมินผลร่วมฟังก์ชันเดียว โดยใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ช่วยในการปรับให้ฟังก์ชันประ เหมินผลต่าง ๆ มีการลดลงมีค่าประมาณเท่า ๆ กัน จากนั้นจะทำการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธีการประมาณฟังก์ชันที่มีมาแต่เดิม ซึ่งปกติจะเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับประมาณฟังก์ชันเพียงฟังก์ชันเดียว โดยอาศัยฟังก์ชันประ เหมินผลร่วมนี้เป็นตัวตัดสินค่าผิดพลาดที่ได้จากการประมาณฟังก์ชันนี้ว่าจะ เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ จากการวิเคราะห์พบว่าการใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันดังกล่าวมักจะมีข้อเสถียรภาพของการลดลงของค่าฟังก์ชันประ เหมินผลของแต่ละฟังก์ชันทั้งนี้เนื่องจากทิศทางการหด เชยพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ ได้มาจากแนวทิศทางการเคลื่อนที่ของฟังก์ชันประ เหมินผลร่วม ซึ่งมักจะมีอิทธิพลมาจากอิทธิพลของสัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ซึ่งไม่ทราบค่าที่ถูกต้องตามสมควรจริง ๆ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ เสนอวิธีการประมาณฟังก์ชันหลาย ๆ ฟังก์ชันที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันพร้อม ๆ กัน โดยทำการประมาณฟังก์ชันโดยใช้ฟังก์ชันประ เหมินผลของแต่ละฟังก์ชันแยกกัน ซึ่งการประมาณฟังก์ชันแบบนี้ได้ใช้วิธีการหาทิศทางหน่วย เวกเตอร์ซึ่งใช้สำหรับการหด เชยพารามิเตอร์ร่วมที่ประกอบขึ้นมาจากทิศทางของเกรเดียนท์ของฟังก์ชันประ เหมินผลย่อยทุก ๆ ฟังก์ชัน และทิศทางการหด เชยพารามิเตอร์ร่วมดังกล่าว จะหาได้จากการใช้การโปรแกรม เชิง เส้นมาช่วยแก้ปัญหา เพื่อให้ได้แนวทางการหด เชยพารามิเตอร์ที่ทำให้ฟังก์ชันประ เหมินผลทุกฟังก์ชันลดลงพร้อม ๆ กัน

จากหลักการที่ได้ เสนอนี้ เมื่อได้ทำการทดลองทำการประมาณฟังก์ชัน เปรียบ เทียบกับวิธีการประมาณฟังก์ชันที่มีใช้อยู่เดิม พบว่ามีข้อดีดังต่อไปนี้

1. สามารถประมาณฟังก์ชันได้หลาย ๆ ฟังก์ชันได้พร้อม ๆ กัน โดยแยกฟังก์ชันประ เหมินผลของแต่ละฟังก์ชันออกจากกันได้โดยอิสระ

2. ไม่ต้องกังวลใช้สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ตามลักษณะดัง เช่นมีไข้อยู่ในวิธีการที่มีมาแต่เดิม
3. สามารถรู้ได้ว่าการลดลงของฟังก์ชันประ เนิมผลนั้น สามารถเป็นไปได้อย่างพร้อม ๆ กัน อีกต่อไปได้หรือไม่ ได้อย่างแน่นอน
4. ฟังก์ชันประ เนิมผลทุกฟังก์ชันมีค่าลดลงพร้อม ๆ กันแน่นอนในแต่ละครั้งที่มีการชด เชย ค่าพารามิเตอร์
5. การปรับอัตราส่วนการลดลงของฟังก์ชันประ เนิมผลสามารถทำได้โดยการ เพิ่มค่า สัมประสิทธิ์ถ่วงดุลย์ให้กับค่า ที่ใช้กับเงื่อนไขแต่ละ เงื่อนไขในการโปรแกรมเชิง เส้นให้แตกต่างกันออกไป

จะ เห็นได้ว่าแม้วิธีการประมาณฟังก์ชันที่ได้ เสนอโดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อดีอยู่หลายอย่าง ก็จริง แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหายังบางประการ เช่น เดียวกับวิธีการประมาณฟังก์ชันโดยทั่วไป เช่นกัน ยกตัวอย่างปัญหาย่างหนึ่งก็คือ การกำหนดค่า เริ่มต้นของค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการ เริ่มประมาณฟังก์ชันนั้น ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะประกันการลดค่าลงของฟังก์ชันประ เนิมผลก็ตาม แต่ ทว่าถ้าค่า เริ่มต้นของค่าพารามิเตอร์อยู่ไกลจากค่าผลลัพธ์ (Solution) มาก การคำนวณก็ อาจจะต้องใช้เวลาอย่างมากมายได้ โดยทั่ว ๆ ไปวิธีการที่ใช้กันอยู่ในการกำหนดค่า เริ่มต้นของ ค่าพารามิเตอร์ ก็คือ เริ่มต้นจากค่าพารามิเตอร์ซึ่งผลลัพธ์อยู่ก่อนแล้วว่ามีค่าไม่ไกลจากค่าที่ ต้องการเท่าไรนัก ยกตัวอย่างเช่น ในการทดลองแรกของวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ของวงจรรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth Filter) ซึ่งมีผลสนองตอบทาง ด้านขนาดและเฟส ตามที่รู้กันดีว่าให้ผลสนองตอบของเฟส เป็นเชิง เส้นกับความถี่ตามต้องการ และมี ผลสนองตอบของขนาดไม่ห่างจากผลที่ต้องการนัก มา เป็นตัวกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ซึ่งก็ ได้ผลตามที่แสดงให้เห็นในบทที่ 10 แล้ว

การกำหนดผลสนองตอบทางขนาดของ เรซิ่นแนลโพลีโนเมียลให้ใกล้เคียงกับผลที่ต้องการ ได้ดีอาจจะทำได้โดยใช้วิธีการของวิวัฒน์ กิรานนท์ (22) แต่อย่างไรก็ตามจำจะต้องดูผลทาง ด้านอื่น ๆ ประกอบด้วยตามสมควร ซึ่งการกำหนดค่า เริ่มต้นที่ดีได้นั้น ยังจะต้อง เป็นปัญหาที่สำคัญ เหลืออยู่ต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปส่วนใหญ่ก็ต้องใช้ประสบการณ์เป็นสิ่งสำคัญ

ในวิทยานิพนธ์นี้แม้ว่าจะได้ยกตัวอย่าง เฉพาะปัญหาทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น แต่วิธีการที่ได้เสนอนี้ก็สามารถจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการออกแบบระบบโดยทั่วไปได้เช่นกัน ดังนั้นในที่นี้อาจกล่าวสรุปได้ว่า การประมาณฟังก์ชันที่ได้เสนอมานี้มีประสิทธิภาพอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานก็ว่าได้



กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ เป็นอย่างสูงยิ่ง ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาท
ความรู้ให้แก่ผู้เขียน ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์
นี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขต
เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ระหว่างทำการวิจัย
ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. แดเนียล บริน ที่ช่วยตรวจ Abstract และขอขอบคุณ คุณกัญญา
พรหมจรรย์ คุณวิจัย เมฆสุริเยนทร์ และคุณเชิดศักดิ์ เลิศธรรมคุณ ที่ช่วยพิมพ์ต้นฉบับ เป็นอย่างดี



เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Shinozaki, "ONE METHOD OF NETWORK CHARACTERISTIC APPROXIMATION BY COMPUTERS", Jour. I.E.C.E., Japan, 50,4,p.p. 111-118, Apr., 1967.
- [2] E.A. Guillemin, "SYNTHESIS OF PASSIVE NETWORK", John Wiley & Sons, Inc., 1957.
- [3] S. Mitra, "ANALYSIS AND SYNTHESIS OF LINEAR ACTIVE NETWORK", John Wiley & Sons, Inc., 1968.
- [4] J.G. Linvill, "NETWORK ALIGNMENT TECHNIQUE", Proc. IRE, Vol. 41, p.p. 290-293, February, 1953.
- [5] M.r. Arron, "THE USE OF LEAST SQUARES IN SYSTEM DESIGN", IRE. Trans. Circuit Theory, Dec., 1956.
- [6] G.C. Temes and D.A. Calahan, "COMPUTER-AIDED NETWORK OPTIMIZATION THE STATE-OF-THE-ART", Proc. IEEE, Vol. 55, No. 11, Nov. 1967.
- [7] A.D. Waren, L.S. Lasdon and D.E. Suchman, " OPTIMIZATION IN ENGINEERING DESIGN", Proc. IEEE, Vol. 55, No. 11, November, 1967.
- [8] G.C. Temes and J.W. Lapatra, "CIRCUIT SYNTHESIS AND DESIGN", McGraw-Hill, 1977.
- [9] W. Kiranon, T. Machida and M. Yoneyama, "SIMULTANEOUS APPROXIMATION FOR TWO KINDS OF SYSTEM CHARACTERISTICS USING DESCENT METHOD", Jour I.E.C.E., Japan, Vol. 64-A, No. 6, 1981.
- [10] S.L.S. Jacoby, J.S. Kowalik and J.T. Pizzo, "ITERATIVE METHODS FOR NONLINEAR OPTIMIZATION PROBLEMS", Prentice-Hall, Inc., 1972.
- [11] R.L. Fox, "OPTIMIZATION METHODS FOR ENGINEERING DESIGN", Addison-Wesley, 1973.

- [12] โมนอย ไกรฤกษ์ และ วิวัฒน์ กิรานนท์, "การประมาณฟังก์ชันที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ร่วมกันหลาย ฟังก์ชันพร้อม ๆ กัน", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 6 เล่ม 3, หน้า 154-163, พฤศจิกายน 2526
- [13] J.G. Linvill, "THE APPROXIMATION WITH RATIONAL FUNCTIONS OF PRESCRIBED MAGNITUDE AND PHASE CHARACTERISTICS, Proc. IRE, p.p.711-721, June, 1952.
- [14] H.Y.F Lam, "ANALOG AND DIGITAL FILTERS : DESIGN AND REALIZATION", Prentice-Hall, 1979, p.p.267.
- [15] A.T. CHOTTERA and G.A. Jullien, "A LINEAR PROGRAMMING APPROACH TO RECURSIVE DIGITAL FILTER DESIGN WITH LINEAR PHASE", IEEE. Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-29, No. 3, March, 1982.
- [16] T. Kodama, "OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR SAW FILTER DESIGN", Jour. I.E.C.E., Japan, Vol. 62-c, No. 9, 1979.
- [17] R.E. Collin and F.J. Zucker, "ANTENNA THEORY PART 1", McGraw-Hill, 1969.
- [18] R.C. Hansen, "MICROWAVE SCANNING ANTENNAS" Vol. 2, Academic Press, 1966.
- [19] S. Tokumaru and H. Yoshimaru, "A NEW ITERATIVE METHOD IN NUMERICAL PATTERN SYNTHESIS", Jour I.E.C.E., Japan, Vol. 63-B, No. 2, 1980.
- [20] W.W. Garvin, "INTRODUCTION TO LINEAR PROGRAMMING", McGraw-Hill, 1960.
- [21] A.G. Deczky, "SYNTHESIS OF RECURSIVE DIGITAL FILTERS USING THE MINIMUM p-ERROR CRITERION", IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, Vol. AU-20, No. 4, pp. 257-263, October, 1972.
- [22] วิวัฒน์ กิรานนท์, "วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นในการประมาณเนตเวิร์คฟังก์ชัน", การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 6 เล่ม 3, หน้า 144-152, พฤศจิกายน 2526

ภาคผนวก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



โปรแกรมหลักที่ใช้ทดสอบขบวนการประมาณฟังก์ชันที่เสนอใหม่

```

1  IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
2  DIMENSION D1(85),D2(85),R1(85),R2(85),E1(85),E2(85),S(85),T(85)
3  *PC(40),P(40),BETA(3),BINV(3,3),IN(3),PHI(3),E(3),BINEW(3,3),A(3
4  *85),DE(6,85),IX(85),IXV(85),C(85),CBAR(85),ALPAS(85),ROALP(85),
5  *(85),DES(3),DIN(3)
6  COMMON/BLOCK1/D1,R1,E1,NS1,Q1,S/BLOCK2/D2,R2,E2,NS2,Q2,T//NP,P
7  *P
8  C
9  C
10 C
11 C
12 * DATA SET*
13 DATA TED,BAA,BAB/3*1,QD75/
14 DATA DP/,1D=5/DAD/,1D=78/
15 DATA RA/,7D00/IE/-1/ZM/,99/UA/,1D=3/
16 C
17 C
18 C
19 * DATA READ-IN*
20 READ(5,900)NP,NS1,NS2,NB,NE
21 READ(5,910)(P(I),I=1,NP)
22 READ(5,910)(S(I),I=1,NS1)
23 READ(5,910)(T(I),I=1,NS2)
24 READ(5,910)(D1(I),I=1,NS1)
25 READ(5,910)(D2(I),I=1,NS2)
26 WRITE(6,950)NP,NS1,NS2,NB,NE
27 NB1=NB+1
28 NTT=NB+NP
29 NT=NTT+1
30 IG=0
31 IDE=0
32 DPP=2.0*DP
33 GO TO 95
34 C
35 C
36 C
37 * A NEW DUMMY PARAMETER SET *
38 19 DO 20 I=1,NP
39 20 PC(I)=P(I)
40 QD1=Q1
41 QD2=Q2
42 BAA=Q1*ZM
43 BAB=Q2*ZM
44 KM=0
45 C
46 C
47 C
48 * DATA WRITE-OUT *
49 21 IE=IE+1
50 1.021 WRITE(6,984)IE
51 WRITE(6,925)
52 WRITE(6,960)(P(I),I=1,NP)
53 IF(IDE.EQ.1) GO TO 22
54 IF(IE.EQ.IG) GO TO 22
55 WRITE(6,935)Q1,Q2
56 IF(IE.GE.NE) IDE=1
57 22 WRITE(6,980)Q1
58 WRITE(6,963)
59 WRITE(6,930)(S(I),D1(I),R1(I),E1(I),I=1,NS1)
60 WRITE(6,981)Q2
61 WRITE(6,963)
62 WRITE(6,930)(T(I),D2(I),R2(I),E2(I),I=1,NS2)
63 IG=IG+2
64 IF(IDE.EQ.1) STOP
65 C
66 C
67 C
68 C
69 * GRADIENT CALCULATION USING
70 DIFFERENCE APPROXIMATION *
71 DO 70 I=1,NP
72 P(I)=PC(I)-DP
73 CALL RES1
74 CALL RES2
75 QM1=Q1
76 QM2=Q2
77 P(I)=PC(I)+DP
78 CALL RES1
79 CALL RES2
80 DE(1,I)=(Q1-QM1)/DPP
81 DE(2,I)=(Q2-QM2)/DPP
82 70 P(I)=PC(I)
83 71 DO 75 I=1,NP

```

```

79 DE(1,I)=DE(1,I)/QD1
80 DE(2,I)=DE(2,I)/QD2
81 GO TO 111
82
83 C
84 C
85 C * FIND THE OPTIMUM OF COMPENSATION
86 C IN THE DIRECTION OF X(I) *
87
88 80 DO 82 I=1,NP
89 XX=X(I)*DP
90 82 P(I)=PC(I)+XX
91 CALL RES1
92 DX1=(Q1-QD1)/DP
93 AU=QD1/DX1
94 AU=DABS(AU)
95 IF(AU.GT.10.0)AU=10.0
96 IF(AU.LT..01)AU=.01
97 92 DO 94 I=1,NP
98 P(I)=PC(I)-AU*X(I)
99 CALL RES1
100 IF(Q1.GT.BAA) GO TO 220
101 CALL RES2
102 IF(Q2.GT.BAB) GO TO 220
103 GO TO 19
104
105 C
106 C * SET INITIAL VALUE OF LINEAR PROGRAMMING,
107 C FINITE VARIABLE LINEAR PROGRAMMING
108 C TRANSFORMED FROM X TO X+0.5 *
109
110 111 DO 112 I=1,NB
111 BETA(I)=0.0
112 DO 113 I=1,NB
113 DO 114 J=1,NP
114 BETA(I)=BETA(I)-DE(I,J)
115 BETA(I)=BETA(I)*0.5
116 DO 116 I=1,NB
117 DO 115 J=NB1,NT
118 A(I,J)=-DE(I,J-NB)
119 DO 116 J=1,NB
120 A(I,J)=0.0
121 DO 118 I=1,NB
122 A(I,NT)=1.0
123 A(I,I)=1.0
124 DO 120 I=1,NT
125 IX(I)=0
126 IX(I)=I
127 120 C(I)=0.0
128 C(NT)=1.0
129 DO 122 I=1,NB
130 DO 122 J=1,NB
131 BINV(I,J)=A(I,J)
132
133 C
134 C * CHECK PHASE 1 OF LINEAR PROGRAMMING *
135 C
136 124 K=0
137 DO 126 I=1,NB
138 IF(BETA(I).GE.0.0) GO TO 126
139 K=K+1
140 IN(K)=I
141 126 CONTINUE
142 IF(K.EQ.0) GO TO 130
143
144 C
145 C * FORM REDUCED COST OF PHASE 1 *
146 C
147 DO 128 J=NB1,NT
148 IJ=IX(J)
149 CBAR(J)=0.0
150 DO 128 I=1,K
151 IK=IN(I)
152 DO 128 N=1,NB
153 CBAR(J)=CBAR(J)+BINV(IK,N)*A(N,IJ)
154 GO TO 136
155
156 C
157 C * FORM REDUCED COST OF PHASE 2 *
158 C
159 130 DO 132 J=1,NB
160 PHI(J)=0.0
161 DO 132 I=1,NB
162 L=IX(I)

```

```

158 132 PHI(J)=PHI(J)+C(L)*BINV(I,J)
159 DO 134 J=NB1,NT
160 L=IX(J)
161 CBAR(J)=-C(L)
162 DO 134 I=1,NB
163 134 CBAR(J)=CBAR(J)+PHI(I)*A(I,L)
164 C
165 C * FIND THE REPLACE COLUMN *
166 C
167 136 LT=0
168 LS=0
169 RED=0.0
170 DEC=0.0
171 DO 140 J=NB1,NT
172 L=IX(J)
173 IF(CBAR(J)) 1136,140,138
174 C
175 C * TYPE 2 AND TYPE 1 WITH VALUE 0 *
176 C
177 1136 IF(L.LT.NB1) GO TO 137
178 IF(L.EQ.NT) GO TO 137
179 IF(IXV(L).EQ.1) GO TO 140
180 137 IF(CBAR(J).GE.RED) GO TO 140
181 RED=CBAR(J)
182 IMIN=J
183 LS=LS+1
184 GO TO 140
185 138 IF(L.LT.NB1) GO TO 140
186 IF(L.EQ.NT) GO TO 140
187 C
188 C * TYPE 1 WITH VALUE 1 *
189 C
190 IF(IXV(L).EQ.0) GO TO 140
191 IF(CBAR(J).LE.DEC) GO TO 140
192 DEC=CBAR(J)
193 LT=LT+1
194 IMAX=J
195 140 CONTINUE
196 LR=LS+LT
197 IF(LR.EQ.0) GO TO 174
198 IF(DEC.GT.-RED) GO TO 142
199 IS=IX(IMIN)
200 JS=IMIN
201 RO=1.0
202 GO TO 144
203 142 IS=IX(IMAX)
204 JS=IMAX
205 RO=-1.0
206 C
207 C * SET ALPHA S *
208 C
209 144 DO 146 I=1,NB
210 ALPAS(I)=0.0
211 DO 146 J=1,NB
212 146 ALPAS(I)=BINV(I,J)*A(J,IS)+ALPAS(I)
213 LD=0
214 C
215 C * FIND THE MINIMUM THETA NUMBER (IR) *
216 C
217 IW=-1
218 THETA=TED
219 DO 150 I=1,NB
220 ROALP(I)=RO*ALPAS(I)
221 C
222 C * PROTECTION OF ZERO DIVISION *
223 C
224 DAA=DABS(ROALP(I))
225 IF(DAA.LT.DAD) GO TO 150
226 TH=BETA(I)/ROALP(I)
227 IF(TH.LE.0.0) GO TO 148
228 IF(TH.GE.THETA) GO TO 150
229 THETA=TH
230 IR=I
231 LX=0
232 LD=LD+1
233 GO TO 150
234 148 IF(IX(I).LT.NB1) GO TO 149
235 IF(IX(I).EQ.NT) GO TO 149
236 TH=(BETA(I)-1.)/ROALP(I)

```

```

237 IF(TH.LT.0.0) GO TO 150
238
239 1148 IF(TH.GT.THETA) GO TO 150
240 THETA=TH
241 LD=LD+1
242 IR=I
243 LX=1
244 GO TO 150
245 149 IF(K.NE.0) GO TO 150
246 IF(IW.GT.0) GO TO 150
247 IF(IS.LT.NB1) GO TO 150
248 IF(IS.EQ.NT) GO TO 150
249 TH=1.0
250 IW=I
251 GO TO 1148
252 150 CONTINUE
253 IF(LD.EQ.0) GO TO 172
254 IF(IR.EQ.IW) GO TO 151
255 IF(IS.LT.NB1) GO TO 158
256 IF(IS.EQ.NT) GO TO 158
257 IF(THETA.LT.1.0) GO TO 158
258 151 IF(RO.GT.0.0) GO TO 152
259 IXV(IS)=0
260 IF(IR.NE.IW) GO TO 154
261 DO 1051 I=1,NB
262 1051 BETA(I)=BETA(I)-ALPAS(I)
263 GO TO 136
264 152 IXV(IS)=1
265 C
266 C * SET THE NEW BASE SOLUTION *
267 C
268 154 DO 156 I=1,NB
269 156 BETA(I)=BETA(I)-ROALP(I)
270 C
271 C * NEEDLESS OF BASE TRANSFER *
272 C
273 GO TO 136
274 158 DO 159 I=1,NB
275 C
276 C * BASE TRANSFER *
277 C
278 159 BETA(I)=BETA(I)-THETA*ROALP(I)
279 IF(RO.LT.0.0) GO TO 160
280 BETA(IR)=THETA
281 GO TO 163
282 160 BETA(IR)=1.0-THETA
283 C
284 C * SET THE NEW INVERSE BASE *
285 C
286 163 IA=IX(IR)
287 IXV(IA)=LX
288 IX(JS)=IX(IR)
289 IX(IR)=IS
290 DO 164 I=1,NB
291 164 E(I)=-ALPAS(I)/ALPAS(IR)
292 E(IR)=1.0/ALPAS(IR)
293 DO 168 J=1,NB
294 DO 168 J=1,NB
295 IF(I.EQ.J) GO TO 166
296 BINEW(I,J)=BINV(I,J)+E(I)*BINV(IR,J)
297 GO TO 168
298 166 BINEW(I,J)=E(I)*BINV(IR,J)
299 168 CONTINUE
300 DO 170 I=1,NB
301 DO 170 J=1,NB
302 170 BINV(I,J)=BINEW(I,J)
303 IF(K.EQ.0) GO TO 130
304 GO TO 124
305 172 WRITE(6,965)
306 174 IF(K.EQ.0) GO TO 176
307 WRITE(6,970)
308 GO TO 181
309 C
310 C * SET THE OPTIMUM DATA OF THE
311 C LINEAR PROGRAMMING *
312 C
313 176 DO 178 I=1,NB
314 J=IX(I)
315 178 X(J)=BETA(I)
DO 180 I=NB1,NT

```

```

316 J=IX(I)
317 180 X(J)=DFLOAT(IXV(J))
318 IF(X(NT).GT.0.0) GO TO 182
319 WRITE(6,940)
320 181 IDE=1
321 DO 1181 I=1,NP
322 1181 P(I)=PC(I)
323 CALL RES1
324 CALL RES2
325 GO TO 1021
326
327 C
328 * DATA TRANSFORM:BRING BACK TO THE
329 C PREVIOUS FORM *
330
331 182 BH=0.0
332 DO 184 I=1,NP
333 X(I)=(X(I+NB)-0.5)
334 184 BH=BH+X(I)**2
335 BH=DSQRT(BH)
336 DO 185 J=1,NB
337 DES(J)=0.0
338 DO 185 I=1,NP
339 DES(J)=DE(J,I)*X(I)+DES(J)
340 DO 186 I=1,NB
341 IF(DES(I).LT.0.0) GO TO 187
342 186 CONTINUE
343 GO TO 80
344 187 WRITE(6,915)
345 GO TO 225
346 220 IF(KM.EQ.2) GO TO 223
347 CALL RES2
348 PAA=Q1-BAA
349 PAB=Q2-BAB
350 IF(KM.EQ.0) GO TO 222
351 IF(PAA.LT.QAA) GO TO 222
352 IF(PAB.LT.QAB) GO TO 222
353 BAA=QD1
354 BAB=QD2
355 AU=AU/RA
356 KM=2
357 GO TO 95
358 222 QAA=PAA
359 QAB=PAB
360 KM=1
361 AU=AU*RA
362 IF(AU.LT.UA) GO TO 223
363 GO TO 92
364 223 CALL RES1
365 IF(Q1.LE.BAA) GO TO 19
366 CALL RES2
367 IF(Q2.LE.BAB) GO TO 19
368 DO 228 J=1,NB
369 DIN(J)=0.0
370 DO 227 I=1,NP
371 DIN(J)=DIN(J)+DE(J,I)**2
372 228 DES(J)=DES(J)/DSQRT(DIN(J))
373 224 WRITE(6,905)
374 225 WRITE(6,960)(DES(I),I=1,NB)
375 WRITE(6,945) BH
376 GO TO 181
377 C
378 * FORMAT PART *
379 C
380 900 FORMAT(5I3)
381 905 FORMAT(1H,5X,'NO VARIATION IN RESPONSE')
382 910 FORMAT(5F12.7)
383 915 FORMAT(1H0,5X,'NO COMMON DIRECTION')
384 925 FORMAT(1H0,5X,'PARAMETER VALUES:')
385 930 FORMAT(1H,7X,4D19.7)
386 935 FORMAT(1H,3X,'PERFORMANCE FUNCTION=',2D18.7)
387 940 FORMAT(1H,15X,'LINEAR PROGRAMMING ITSELF ERRORS')
388 945 FORMAT(1H,2X,'MAGNITUDE OF D=',D17.7)
389 950 FORMAT(1H0,3X,6I7)
390 960 FORMAT(1H,5X,6D16.7)
391 963 FORMAT(1H,13X,'SAMPLING NUMBER',3X,'DESIRED RESPONSE',
392 *3X,'APPROXIMATING RESPONSE',6X,'ERROR',/)
393 965 FORMAT(1H,2X,'*****THE SOLUTION OF THE LINEAR PROGRAMMING
394 *MAY NOT BE OPTIMUM')
395 970 FORMAT(1H,15X,'PHASE1 ERRORS')
396 980 FORMAT(1H0,5X,'PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1=',D16.7)

```

395
396
397

```
981 FORMAT(1H0,5X,'PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2=',D16.7)  
984 FORMAT(1H0,3X,'NUMBER OF ITERATION=',I4)  
END
```



โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณการตอบสนองขนาดในการทดลองที่ 1

```
1 SUBROUTINE RES1
2 IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
3 DIMENSION S(21),P(13),R1(21),D1(21),E1(21)
4 COMMON/BLOCK1/D1,R1,E1,NS1,Q1,S//NP,P
5 Q1=0.0
6 DO 500 I=1,NS1
7 F1=S(I)**2
8 F2=F1+P(1)**2
9 F3=P(2)**2+P(3)**2-F1
10 F4=2.0*P(2)*S(I)
11 F1=F3**2+F4**2
12 F3=F2*F1
13 R1(I)=-DLOG10(F3)*.5
14 E1(I)=D1(I)-R1(I)
15 500 Q1=Q1+F1(I)**2
16 RETURN
17 END
```



โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณการตอบสนองเฟสในการทดลองที่ 1

```
1 SUBROUTINE RES2  
2 IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)  
3 DIMENSION T(21),P(13),R2(21),D2(21),E2(21)  
4 COMMON/BLOCK2/D2,R2,E2,NS2,Q2,T//NP,P  
5 Q2=0.0  
6 B=P(1)  
7 X=P(2)  
8 DO 500 I=1,NS2  
9 A=T(I)  
10 Y=P(3)+A  
11 Z=A-P(3)  
12 A1=DATAN(A/B)  
13 A2=DATAN(Y/X)  
14 A3=DATAN(Z/X)  
15 R2(I)=A1+A2+A3  
16 E2(I)=D2(I)-R2(I)  
17 500 Q2=Q2+E2(I)**2  
18 RETURN  
19 END
```



โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณการตอบสนองขนาดในการทดลองที่ 2

```

1      SUBROUTINE RES1
2
3      C
4      C
5      C
6      C
7      C
8      C
9      C
10     IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
11     DIMENSION D1(21),R1(21),E1(21),PS(13),S(21),P(13)
12     COMMON/BLOCK1/D1,R1,E1,NS1,Q1,S7/PS,NP,MP,P
13     DO 5 I=1,NP
14     PS(I)=P(I)**2
15     PM=PS(3)**2+PS(4)**2
16     Q1=0.0
17     DO 10 I=1,NS1
18     W=S(I)**2
19     C=PM-W
20     DD=2.0*PS(3)*S(I)
21     BB=PS(1)*S(I)
22     BR=PS(2)*C+BB*DD
23     BI=C*BR-PS(2)*DD
24     AM=(BR**2+BI**2)
25     R1(I)=DSQRT(AM)/(C**2+DD**2)
26     E1(I)=D1(I)-R1(I)
27     Q1=Q1+E1(I)**MP
28     RETURN
29     END

```

โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณการตอบสนองเฟสในการทดลองที่ 2

```
1 SUBROUTINE RES2  
2 SECOND RESPONSE CALCULATION  
3 R=ARG(1/H)  
4 IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)  
5 DIMENSION D2(21),R2(21),E2(21),PS(13),T(21),P(13)  
6 COMMON/BLOCK2/D2,R2,E2,NS2,Q2,T//PS,NP,MP,P  
7 DO 5 I=1,NP  
8 PS(I)=P(I)**2  
9 Q2=0.0  
10 PM=PS(3)**2+PS(4)**2  
11 DO 10 I=1,NS2  
12 W=T(I)**2  
13 C=PM-W  
14 DD=2.0*PS(3)*T(I)  
15 HB=PS(1)*T(I)  
16 BR=PS(2)*C+HB*DD  
17 BI=C*HB-PS(2)*DD  
18 R2(I)=-DATAN2(BI,BR)  
19 E2(I)=D2(I)-R2(I)  
20 Q2=Q2+E2(I)**MP  
21 RETURN  
22 END
```



โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณส เตป เรสพอนส์ในการทดลองที่ 2

```
1      SUBROUTINE RES3  
2      R=STEP FUNCTION OF H(S)  
3      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)  
4      DIMENSION D3(21),R3(21),E3(21),PS(13),Y(21),P(13)  
5      COMMON/BLOCK3/D3,R3,E3,NS3,Q3,Y//PS,NP,MP,P  
6      DO 5 I=1,NP  
7      5 PS(I)=P(I)**2  
8      Q3=0.0  
9      DO 10 I=1,NS3  
10     WT=PS(4)*Y(I)  
11     CO=DCOS(WT)  
12     SO=DSIN(WT)  
13     OD=PS(3)**2+PS(4)**2  
14     AB=PS(2)-PS(1)*PS(3)  
15     OI=PS(1)*(PS(4)*SO-PS(3)*CO)-AB*(CO+PS(3)*SO/PS(4))  
16     R3(I)=(DEXP(-PS(3)*Y(I))*OI+PS(2))/OD  
17     E3(I)=D3(I)-R3(I)  
18     10 Q3=Q3+E3(I)**MP  
19     RETURN  
20     END
```

โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณการคอบสองขนาดในการทดลองที่ 3

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

```

SUBROUTINE RES1
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION D1(85),R1(85),E1(85),S(85),P(40)
COMMON/BLOCK1/D1,R1,E1,NS1,Q1,S//NP,P
Q1=0.0
DO 40 J=1,NS1
SS=S(J)*3.1415926535897932
K=1
NZ=1
M=18
A=P(NZ)
15 B=0.0
DO 20 I=1,M
X=DFLOAT(I)*SS
L=I+NZ
A=A+P(L)*DCOS(X)
20 B=B+P(L)*DSIN(X)
A=A**2
B=B**2
AB=A+B
R1(J)=DSQRT(AB)
IF(K.EQ.2) GO TO 30
RR=R1(J)
M=18
K=2
NZ=19
A=1.0
GO TO 15
30 R1(J)=RR/R1(J)
E1(J)=D1(J)-R1(J)
40 Q1=Q1+E1(J)**2
RETURN
END

```

โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณกรัณฑ์เดียวในการทดลองที่ 3

```
1  SUBROUTINE RES2
2  IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
3  DIMENSION D2(85),R2(85),E2(85),T(85),P(40)
4  COMMON/BLOCK2/D2,R2,E2,NS2,Q2,T//NP,P
5  Q2=0.0
6  DO 40 J=1,NS2
7  TT=T(J)*3.1415926535897932
8  K=1
9  NZ=1
10 M=18
11 C=P(NZ)
12 15 B=0.0
13 A=0.0
14 DD=0.0
15 DO 20 I=1,M
16 X=DFLOAT(I)*TT
17 L=I+NZ
18 A=A-P(L)*SIN(X)
19 B=B-DFLOAT(I)*P(L)*DSIN(X)
20 C=C+P(L)*DCOS(X)
21 20 DD=DD-DFLOAT(I)*P(L)*DCOS(X)
22 E=A**2+C**2
23 R2(J)=(A*B-C*DD)/E
24 IF(K.EQ.2) GO TO 30
25 RR=R2(J)
26 M=18
27 K=2
28 NZ=19
29 C=1.0
30 GO TO 15
31 30 R2(J)=RR-R2(J)
32 E2(J)=D2(J)-R2(J)
33 40 Q2=Q2+E2(J)**2
34 RETURN
35 END
```

โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณกระสวนในการทดลองที่ 4

```
1 SUBROUTINE RES1
2 IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
3 DIMENSION D1(95),R1(95),E1(95),S(95),P(10),PS(10),U(95)
4 COMMON/BLOCK1/D1,R1,E1,NS1,Q1,S//NP,P
5 DO 10 J=1,NP
6 PS(J)=P(J)**2
7 Q1=0.0
8 DO 30 I=1,NS1
9 XX=0.0
10 YY=0.0
11 U(I)=S(I)*3.1415926
12 DO 20 J=1,NP
13 X=(2.0*DFLOAT(J)-1.0)*0.5*U(I)
14 Y=DCOS(X)
15 XX=XX+PS(J)*Y
16 20 YY=YY+PS(J)
17 R1(I)=XX/YY
18 R1(I)=DABS(R1(I))**2
19 R1(I)=10.0*DLOG10(R1(I))
20 E1(I)=R1(I)-D1(I)
21 30 Q1=Q1+DEXP(E1(I))
22 RETURN
23 END
```

โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณค่าทริกกำลังในการทดลองที่ 4

```
1 SUBROUTINE RES2
2 IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
3 DIMENSION D2(1),R2(1),E2(1),PS(10),T(1),P(10)
4 COMMON/BLOCK2/D2,R2,E2,NS2,Q2,T//NP,P
5 DO 10 J=1,NP
6 PS(J)=P(J)**2
7 DO 30 I=1,NS2
8 XX=0.0
9 YY=0.0
10 DO 20 J=1,NP
11 XX=XX+PS(J)
12 YY=YY+PS(J)**2
13 XX=(X**2+2.0)
14 R2(I)=XX/YY
15 R2(I)=10.0*NLG10(R2(I))
16 E2(I)=D2(I)-R2(I)
17 30 Z2=E2(I)**2
18 RETURN
19 END
```

ตัวอย่างข้อมูลและผลลัพธ์ของการคำนวณ

4 21 11 16 3 35

NUMBER OF ITERATION= 0

PARAMETER VALUES:
0.5000000d-01 0.2000000d+01 0.5000000d+00 0.1000000d+01

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.3348647d+03

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000d+00	0.1000000d+01	0.3764706d+01	-0.2764706d+01
0.1000000d+00	0.9999520d+00	0.3796194d+01	-0.2796242d+01
0.2000000d+00	0.9992029d+00	0.3893405d+01	-0.2894202d+01
0.3000000d+00	0.9959764d+00	0.4065040d+01	-0.3069064d+01
0.4000000d+00	0.9874425d+00	0.4327154d+01	-0.3339712d+01
0.5000000d+00	0.9701433d+00	0.4705374d+01	-0.3735231d+01
0.6000000d+00	0.9408891d+00	0.5236454d+01	-0.4295565d+01
0.7000000d+00	0.8979917d+00	0.5961151d+01	-0.5063160d+01
0.8000000d+00	0.8422773d+00	0.6875063d+01	-0.6032786d+01
0.9000000d+00	0.7770648d+00	0.7751936d+01	-0.6974871d+01
0.1000000d+01	0.7071075d+00	0.7938225d+01	-0.7231117d+01
0.1100000d+01	0.6370466d+00	0.7024508d+01	-0.6387461d+01
0.1200000d+01	0.5703962d+00	0.5642731d+01	-0.5072335d+01
0.1300000d+01	0.5092440d+00	0.4427381d+01	-0.3918137d+01
0.1400000d+01	0.4544705d+00	0.3514313d+01	-0.3059842d+01
0.1700000d+01	0.3269983d+00	0.1984616d+01	-0.1657618d+01
0.2100000d+01	0.2211432d+00	0.1140150d+01	-0.9190071d+00
0.3000000d+01	0.9967244d-01	0.4951736d+00	-0.3955012d+00
0.3500000d+01	0.8282588d-01	0.3532471d+00	-0.2704213d+00
0.5000000d+01	0.4078325d-01	0.1661987d+00	-0.1254155d+00
0.1000000d+02	0.1022068d-01	0.4037882d-01	-0.3015814d-01

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.1548207d+01

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000d+00	0.0000000d+00	0.0000000d+00	0.0000000d+00
0.1000000d+00	0.1570000d+00	0.4740775d-01	0.1095923d+00
0.2000000d+00	0.3140000d+00	0.9736448d-01	0.2166355d+00
0.3000000d+00	0.4710000d+00	0.1528482d+00	0.3181518d+00
0.4000000d+00	0.6280000d+00	0.2178323d+00	0.4101677d+00
0.5000000d+00	0.7850000d+00	0.2981864d+00	0.4868136d+00
0.6000000d+00	0.9420000d+00	0.4032276d+00	0.5387724d+00
0.7000000d+00	0.1099000d+01	0.5482885d+00	0.5507115d+00
0.8000000d+00	0.1256000d+01	0.7575494d+00	0.4984506d+00
0.9000000d+00	0.1413000d+01	0.1058900d+01	0.3540999d+00
0.1000000d+01	0.1570000d+01	0.1445816d+01	0.1241837d+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.1363991d+03

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.1000000d+01	0.3048300d+00	0.1565413d+01	-0.1260583d+01
0.2000000d+01	0.7219000d+00	0.4197244d+01	-0.3475344d+01
0.3000000d+01	0.9605000d+00	0.5462658d+01	-0.4502158d+01
0.4000000d+01	0.1038000d+01	0.4931314d+01	-0.3893314d+01
0.5000000d+01	0.1038000d+01	0.3716635d+01	-0.2678635d+01
0.6000000d+01	0.1019300d+01	0.3016667d+01	-0.1997367d+01
0.7000000d+01	0.1005000d+01	0.3164331d+01	-0.2159331d+01
0.8000000d+01	0.2921000d+00	0.3713154d+01	-0.2721054d+01
0.9000000d+01	0.2981400d+00	0.4085466d+01	-0.3087326d+01
0.1000000d+02	0.9988000d+00	0.4065918d+01	-0.3067118d+01
0.1100000d+02	0.9979500d+00	0.3823648d+01	-0.2824148d+01
0.1200000d+02	0.9999000d+00	0.3631615d+01	-0.2631715d+01
0.1300000d+02	0.1007000d+01	0.3616950d+01	-0.2616950d+01
0.1400000d+02	0.1000000d+01	0.3721082d+01	-0.2721082d+01
0.1500000d+02	0.1007000d+01	0.3817611d+01	-0.2817611d+01
0.1600000d+02	0.1000000d+01	0.3835689d+01	-0.2835689d+01

NUMBER OF ITERATION= 1

PARAMETER VALUES:
-0.7735111d-01 0.1872649d+01 0.6273511d+00 0.9995574d+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.1211333d+03 0.9376738d+00 0.7075254d+02

NUMBER OF ITERATION= 2

PARAMETER VALUES:
0.5147678d-01 0.1743821d+01 0.7561790d+00 0.9857571d+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.4103002d+02 0.5767501d+00 0.3167794d+02

NUMBER OF ITERATION= 3

PARAMETER VALUES:
-0.6984452d-01 0.1622500d+01 0.8775003d+00 0.9480020d+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.1268824d+02 0.3788991d+00 0.1222652d+02

NUMBER OF ITERATION= 4

PARAMETER VALUES:
0.3361357d-01 0.1519042d+01 0.9809584d+00 0.8780916d+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.3460838d+01 0.2675491d+00 0.4085808d+01

NUMBER OF ITERATION= 5

PARAMETER VALUES:
-0.6626584D-01 0.1419162D+01 0.1044460D+01 0.7782122D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.3159714D+00

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.1000000D+01	0.1293674D+01	-0.2936737D+00
0.1000000D+00	0.9999520D+00	0.1289275D+01	-0.2893232D+00
0.2000000D+00	0.9992029D+00	0.1276037D+01	-0.2768338D+00
0.3000000D+00	0.9959764D+00	0.1253878D+01	-0.2579011D+00
0.4000000D+00	0.9874425D+00	0.1222811D+01	-0.2353685D+00
0.5000000D+00	0.9701433D+00	0.1183115D+01	-0.2129718D+00
0.6000000D+00	0.9408891D+00	0.1135483D+01	-0.1945938D+00
0.7000000D+00	0.8979917D+00	0.1081088D+01	-0.1830964D+00
0.8000000D+00	0.8422773D+00	0.1021531D+01	-0.1792538D+00
0.9000000D+00	0.7770648D+00	0.9586769D+00	-0.1816121D+00
0.1000000D+01	0.7071075D+00	0.8944365D+00	-0.1873290D+00
0.1100000D+01	0.6370466D+00	0.8305601D+00	-0.1935135D+00
0.1200000D+01	0.5703962D+00	0.7684913D+00	-0.1980951D+00
0.1300000D+01	0.5092440D+00	0.7093014D+00	-0.2000574D+00
0.1400000D+01	0.4544705D+00	0.6536932D+00	-0.1992227D+00
0.1700000D+01	0.3269983D+00	0.5109988D+00	-0.1840005D+00
0.2100000D+01	0.2211432D+00	0.3731425D+00	-0.1519993D+00
0.3000000D+01	0.9967244D-01	0.2031996D+00	-0.1035272D+00
0.3500000D+01	0.8282588D-01	0.1532798D+00	-0.7045394D-01
0.5000000D+01	0.4078325D-01	0.7789518D-01	-0.3711193D-01
0.1000000D+02	0.1022068D-01	0.1997879D-01	-0.9758107D-02

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.1849095D+00

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00
0.1000000D+00	0.1570000D+00	0.1399075D+00	0.1709253D-01
0.2000000D+00	0.3140000D+00	0.2796793D+00	0.3432073D-01
0.3000000D+00	0.4710000D+00	0.4190587D+00	0.5194131D-01
0.4000000D+00	0.6280000D+00	0.5575740D+00	0.7042600D-01
0.5000000D+00	0.7850000D+00	0.6944951D+00	0.9050488D-01
0.6000000D+00	0.9420000D+00	0.8288552D+00	0.1131448D+00
0.7000000D+00	0.1099000D+01	0.9595358D+00	0.1394642D+00
0.8000000D+00	0.1256000D+01	0.1085394D+01	0.1706062D+00
0.9000000D+00	0.1413000D+01	0.1205398D+01	0.2076023D+00
0.1000000D+01	0.1570000D+01	0.1318736D+01	0.2512636D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.1252014D+01

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.1000000D+01	0.3048300D+00	0.4921685D+00	-0.1873385D+00
0.2000000D+01	0.7219000D+00	0.9969415D+00	-0.2750415D+00
0.3000000D+01	0.9605000D+00	0.1220216D+01	-0.2597156D+00
0.4000000D+01	0.1038000D+01	0.1286582D+01	-0.2485823D+00
0.5000000D+01	0.1038000D+01	0.1298046D+01	-0.2600457D+00
0.6000000D+01	0.1019300D+01	0.1296889D+01	-0.2775887D+00
0.7000000D+01	0.1005000D+01	0.1294956D+01	-0.2899562D+00
0.8000000D+01	0.9921000D+00	0.1294019D+01	-0.3019193D+00
0.9000000D+01	0.9981400D+00	0.1293720D+01	-0.2955799D+00
0.1000000D+02	0.9983000D+00	0.1293660D+01	-0.2948602D+00
0.1100000D+02	0.9995000D+00	0.1293661D+01	-0.2941610D+00
0.1200000D+02	0.9999000D+00	0.1293668D+01	-0.2937682D+00
0.1300000D+02	0.1000000D+01	0.1293672D+01	-0.2936721D+00
0.1400000D+02	0.1000000D+01	0.1293673D+01	-0.2936734D+00
0.1500000D+02	0.1000000D+01	0.1293674D+01	-0.2936737D+00
0.1600000D+02	0.1000000D+01	0.1293674D+01	-0.2936737D+00

NUMBER OF ITERATION= 6

PARAMETER VALUES:
0.2632641D-01 0.1326570D+01 0.1061249D+01 0.6856200D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.1908306D+00 0.1077918D+00 0.4292695D+00

NUMBER OF ITERATION= 7

PARAMETER VALUES:
-0.4562713D-01 0.1254616D+01 0.1060440D+01 0.6136664D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6004371D-01 0.6133753D-01 0.1727872D+00

NUMBER OF ITERATION= 8

PARAMETER VALUES:
0.1609704D-02 0.1207380D+01 0.1055368D+01 0.5664296D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.5270879D-01 0.3929686D-01 0.8175231D-01

NUMBER OF ITERATION= 9

PARAMETER VALUES:
-0.14460262D-01 0.1196201D+01 0.1043887D+01 0.6126419D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.4735603D-01 0.3844689D-01 0.6783807D-01

NUMBER OF ITERATION= 10

PARAMETER VALUES:

0.1678391D-01 0.1179054D+01 0.1024917D+01 0.6740285D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.3807973D-01

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.000000D+00	0.1000000D+01	0.1061315D+01	-0.6131466D-01
0.1000000D+00	0.9999520D+00	0.1055778D+01	-0.5582634D-01
0.2000000D+00	0.9992029D+00	0.1039326D+01	-0.4012356D-01
0.3000000D+00	0.9959764D+00	0.1012461D+01	-0.1648475D-01
0.4000000D+00	0.9874425D+00	0.9760972D+00	0.1134528D-01
0.5000000D+00	0.9701433D+00	0.9316055D+00	0.3853781D-01
0.6000000D+00	0.9408891D+00	0.8807716D+00	0.6011748D-01
0.7000000D+00	0.8979917D+00	0.8256503D+00	0.7234139D-01
0.8000000D+00	0.8422773D+00	0.7683483D+00	0.7392900D-01
0.9000000D+00	0.7770648D+00	0.7108029D+00	0.6626194D-01
0.1000000D+01	0.7071075D+00	0.6546175D+00	0.5249001D-01
0.1100000D+01	0.6370466D+00	0.6009837D+00	0.3606292D-01
0.1200000D+01	0.5703962D+00	0.5506825D+00	0.1971373D-01
0.1300000D+01	0.5092440D+00	0.5041392D+00	0.5104786D-02
0.1400000D+01	0.4544705D+00	0.4615021D+00	-0.7031600D-02
0.1700000D+01	0.3269983D+00	0.3559532D+00	-0.2895491D-01
0.2100000D+01	0.2211432D+00	0.2578110D+00	-0.3666781D-01
0.3000000D+01	0.9967244D-01	0.1398142D+00	-0.4014178D-01
0.3500000D+01	0.8282588D-01	0.1054624D+00	-0.2263651D-01
0.5000000D+01	0.4078325D-01	0.5364417D-01	-0.1286092D-01
0.1000000D+02	0.1022068D-01	0.1377750D-01	-0.3556819D-02

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.3736767D-01

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00
0.1000000D+00	0.1570000D+00	0.1602203D+00	-0.3220321D-02
0.2000000D+00	0.5140000D+00	0.3195089D+00	-0.5508879D-02
0.3000000D+00	0.4710000D+00	0.4768401D+00	-0.5840087D-02
0.4000000D+00	0.6280000D+00	0.6310462D+00	-0.3046218D-02
0.5000000D+00	0.7850000D+00	0.7908420D+00	0.4157972D-02
0.6000000D+00	0.9420000D+00	0.9249199D+00	0.1708011D-01
0.7000000D+00	0.1099000D+01	0.1062084D+01	0.3691606D-01
0.8000000D+00	0.1256000D+01	0.1191378D+01	0.6462234D-01
0.9000000D+00	0.1413000D+01	0.1312167D+01	0.1008330D+00
0.1000000D+01	0.1570000D+01	0.1424163D+01	0.1458369D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.4360012D-01

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.1000000D+01	0.3048300D+00	0.3511622D+00	-0.4633216D-01
0.2000000D+01	0.7219000D+00	0.7447624D+00	-0.2286236D-01
0.3000000D+01	0.9605000D+00	0.9492149D+00	0.1128509D-01
0.4000000D+01	0.1038000D+01	0.1029578D+01	0.8422133D-02
0.5000000D+01	0.1038000D+01	0.1055080D+01	-0.1707991D-01
0.6000000D+01	0.1019300D+01	0.1061278D+01	-0.4197837D-01
0.7000000D+01	0.1005000D+01	0.1062055D+01	-0.5705464D-01
0.8000000D+01	0.9921000D+00	0.1061784D+01	-0.6968425D-01
0.9000000D+01	0.9981400D+00	0.1061519D+01	-0.6337931D-01
0.1000000D+02	0.9983000D+00	0.1061386D+01	-0.6258585D-01
0.1100000D+02	0.9995000D+00	0.1061334D+01	-0.6183437D-01
0.1200000D+02	0.9999000D+00	0.1061318D+01	-0.6141834D-01
0.1300000D+02	0.1000000D+01	0.1061315D+01	-0.6131456D-01
0.1400000D+02	0.1000000D+01	0.1061314D+01	-0.6131415D-01
0.1500000D+02	0.1000000D+01	0.1061314D+01	-0.6131435D-01
0.1600000D+02	0.1000000D+01	0.1061315D+01	-0.6131453D-01

NUMBER OF ITERATION= 11

PARAMETER VALUES:

-0.3913387D-01 0.1152337D+01 0.9974040D+00 0.7299463D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.2866531D-01 0.3495077D-01 0.2228384D-01

NUMBER OF ITERATION= 12

PARAMETER VALUES:

0.2383740D-01 0.1107455D+01 0.9510404D+00 0.7929175D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.1801946D-01 0.3105289D-01 0.3920219D-02

NUMBER OF ITERATION= 13

PARAMETER VALUES:

-0.2327650D-01 0.1060376D+01 0.9039265D+00 0.8248057D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.9523695D-02 0.1871828D-01 0.2305091D-02

NUMBER OF ITERATION= 14

PARAMETER VALUES:

-0.2082650D-01 0.1062826D+01 0.9014765D+00 0.8223557D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.4993300D-02 0.1461014D-01 0.2135403D-02

NUMBER OF ITERATION= 15

PARAMETER VALUES:
0.1989026D-01 0.1022109D+01 0.8644149D+00 0.8352464D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.1512308D-02

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.1000000D+01	0.9996963D+00	0.3037479D-03
0.1000000D+00	0.9999520D+00	0.9989955D+00	0.9564942D-03
0.2000000D+00	0.9992029D+00	0.9963579D+00	0.2845032D-02
0.3000000D+00	0.9959764D+00	0.9902238D+00	0.5752622D-02
0.4000000D+00	0.9874425D+00	0.9782013D+00	0.9241218D-02
0.5000000D+00	0.9701433D+00	0.9575239D+00	0.1261942D-01
0.6000000D+00	0.9408891D+00	0.9258436D+00	0.1504549D-01
0.7000000D+00	0.8979917D+00	0.8821909D+00	0.1580085D-01
0.8000000D+00	0.8422773D+00	0.8276316D+00	0.1464567D-01
0.9000000D+00	0.7770648D+00	0.7651493D+00	0.1191555D-01
0.1000000D+01	0.7071075D+00	0.6987518D+00	0.8355717D-02
0.1100000D+01	0.6370466D+00	0.6323407D+00	0.4705887D-02
0.1200000D+01	0.5703962D+00	0.5689216D+00	0.1474553D-02
0.1300000D+01	0.5092440D+00	0.5103552D+00	-0.1111197D-02
0.1400000D+01	0.4544705D+00	0.4574983D+00	-0.3027764D-02
0.1700000D+01	0.3269983D+00	0.3327328D+00	-0.5734519D-02
0.2100000D+01	0.2211432D+00	0.2270461D+00	-0.5902878D-02
0.3000000D+01	0.9967244D-01	0.1144089D+00	-0.1473651D-01
0.3500000D+01	0.8282588D-01	0.8448459D-01	-0.1658707D-02
0.5000000D+01	0.4078325D-01	0.4163297D-01	-0.8497216D-03
0.1000000D+02	0.1022068D-01	0.1043910D-01	-0.2184173D-03

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.6063430D-02

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00
0.1000000D+00	0.1570000D+00	0.1433568D+00	0.1364321D-01
0.2000000D+00	0.3140000D+00	0.2889859D+00	0.2501414D-01
0.3000000D+00	0.4710000D+00	0.4387896D+00	0.3221036D-01
0.4000000D+00	0.6280000D+00	0.5938925D+00	0.3410753D-01
0.5000000D+00	0.7850000D+00	0.7542177D+00	0.3078235D-01
0.6000000D+00	0.9420000D+00	0.9181827D+00	0.2381728D-01
0.7000000D+00	0.1099000D+01	0.1082731D+01	0.1626905D-01
0.8000000D+00	0.1256000D+01	0.1243850D+01	0.1215021D-01
0.9000000D+00	0.1413000D+01	0.1397461D+01	0.1553910D-01
0.1000000D+01	0.1570000D+01	0.1540299D+01	0.2970129D-01

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.2971417D-03

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.1000000D+01	0.3048300D+00	0.3111401D+00	-0.6310113D-02
0.2000000D+01	0.7219000D+00	0.7240939D+00	-0.2193887D-02
0.3000000D+01	0.9605000D+00	0.9540974D+00	0.6402598D-02
0.4000000D+01	0.1038000D+01	0.1028429D+01	0.9570902D-02
0.5000000D+01	0.1038000D+01	0.1030788D+01	0.7211529D-02
0.6000000D+01	0.1019300D+01	0.1015823D+01	0.3476903D-02
0.7000000D+01	0.1005000D+01	0.1004428D+01	0.5715841D-03
0.8000000D+01	0.9921000D+00	0.9995134D+00	-0.7413441D-02
0.9000000D+01	0.9981400D+00	0.9985017D+00	-0.3617355D-03
0.1000000D+02	0.9988000D+00	0.9988700D+00	-0.7001746D-04
0.1100000D+02	0.9995000D+00	0.9993644D+00	0.1355956D-03
0.1200000D+02	0.9999000D+00	0.9996407D+00	0.2592905D-03
0.1300000D+02	0.1000000D+01	0.9997304D+00	0.2696144D-03
0.1400000D+02	0.1000000D+01	0.9997335D+00	0.2665035D-03
0.1500000D+02	0.1000000D+01	0.9997156D+00	0.2843662D-03
0.1600000D+02	0.1000000D+01	0.9997020D+00	0.2980330D-03

NUMBER OF ITERATION= 16

PARAMETER VALUES:
0.1960202D-01 0.1022397D+01 0.8641266D+00 0.8349581D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.1257648D-02 0.5806114D-02 0.2799314D-03

NUMBER OF ITERATION= 17

PARAMETER VALUES:
-0.4375361D-02 0.9984198D+00 0.8447096D+00 0.8350273D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6380441D-03 0.3363269D-02 0.1668276D-03

NUMBER OF ITERATION= 18

PARAMETER VALUES:
-0.3713602D-04 0.1002758D+01 0.8481165D+00 0.8350930D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6325662D-03 0.3332640D-02 0.1654043D-03

NUMBER OF ITERATION= 19

PARAMETER VALUES:
0.2617874D-02 0.1000103D+01 0.8460327D+00 0.8350517D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6313651D-03 0.3326149D-02 0.1650480D-03

NUMBER OF ITERATION= 20 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PARAMETER VALUES:

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.6306194D-03
SAMPLING NUMBER DESIRED RESPONSE

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.1000000D+01	0.1001738D+01	-0.1738468D-02
0.1000000D+00	0.9999520D+00	0.1001395D+01	-0.1442722D-02
0.2000000D+00	0.9992029D+00	0.9997701D+00	-0.5671612D-03
0.3000000D+00	0.9959764D+00	0.9951182D+00	0.8582239D-03
0.4000000D+00	0.9874425D+00	0.9847093D+00	0.2733172D-02
0.5000000D+00	0.9701433D+00	0.9653026D+00	0.4840674D-02
0.6000000D+00	0.9408891D+00	0.9340474D+00	0.6841668D-02
0.7000000D+00	0.8972917D+00	0.8896477D+00	0.8340240D-02
0.8000000D+00	0.8422773D+00	0.8332033D+00	0.9073963D-02
0.9000000D+00	0.7770648D+00	0.7680921D+00	0.8972685D-02
0.1000000D+01	0.7071075D+00	0.6988725D+00	0.8234965D-02
0.1100000D+01	0.6370466D+00	0.6299094D+00	0.7137237D-02
0.1200000D+01	0.5703962D+00	0.5644623D+00	0.5933864D-02
0.1300000D+01	0.5092440D+00	0.5044517D+00	0.4792335D-02
0.1400000D+01	0.4544705D+00	0.4506750D+00	0.3795538D-02
0.1700000D+01	0.3269983D+00	0.3252314D+00	0.1766898D-02
0.2100000D+01	0.2211432D+00	0.2205713D+00	-0.5718704D-03
0.3000000D+01	0.9967244D-01	0.1104955D+00	-0.1082304D-01
0.3500000D+01	0.8282588D-01	0.8147850D-01	0.1347382D-02
0.5000000D+01	0.4078325D-01	0.4007409D-01	0.7091557D-03
0.1000000D+02	0.1022068D-01	0.1003490D-01	0.1857764D-03

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.33220274D-02
SAMPLING NUMBER DESIRED RESPONSE

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00
0.1000000D+00	0.1570000D+00	0.1437819D+00	0.1321815D-01
0.2000000D+00	0.3140000D+00	0.2901636D+00	0.2383640D-01
0.3000000D+00	0.4710000D+00	0.4413568D+00	0.2964323D-01
0.4000000D+00	0.6280000D+00	0.5987350D+00	0.2926497D-01
0.5000000D+00	0.7850000D+00	0.7623367D+00	0.2266334D-01
0.6000000D+00	0.9420000D+00	0.9304730D+00	0.1152705D-01
0.7000000D+00	0.1099000D+01	0.1099723D+01	-0.7231748D-03
0.8000000D+00	0.1256000D+01	0.1265532D+01	-0.9531577D-02
0.9000000D+00	0.1413000D+01	0.1423279D+01	-0.1027903D-01
0.1000000D+01	0.1570000D+01	0.1569338D+01	0.6624237D-03

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.1648441D-03
SAMPLING NUMBER DESIRED RESPONSE

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.1000000D+01	0.3048300D+00	0.3042239D+00	0.6061417D-03
0.2000000D+01	0.7219000D+00	0.7184883D+00	0.3411729D-02
0.3000000D+01	0.9605000D+00	0.9558462D+00	0.4653771D-02
0.4000000D+01	0.1038000D+01	0.1034784D+01	0.3215789D-02
0.5000000D+01	0.1038000D+01	0.1037356D+01	0.6441417D-03
0.6000000D+01	0.1019300D+01	0.1020508D+01	-0.1207670D-02
0.7000000D+01	0.1005000D+01	0.1007301D+01	-0.2300633D-02
0.8000000D+01	0.9921000D+00	0.1001434D+01	-0.9333539D-02
0.9000000D+01	0.9981400D+00	0.1000188D+01	-0.2047875D-02
0.1000000D+02	0.9988000D+00	0.1000652D+01	-0.1851770D-02
0.1100000D+02	0.9995000D+00	0.1001295D+01	-0.1794781D-02
0.1200000D+02	0.9999000D+00	0.1001665D+01	-0.1765179D-02
0.1300000D+02	0.1000000D+01	0.1001789D+01	-0.1789182D-02
0.1400000D+02	0.1000000D+01	0.1001794D+01	-0.1793809D-02
0.1500000D+02	0.1000000D+01	0.1001768D+01	-0.1767781D-02
0.1600000D+02	0.1000000D+01	0.1001747D+01	-0.1747222D-02

NUMBER OF ITERATION= 21

PARAMETER VALUES:
-0.5692587D-03 0.1000543D+01 0.8463778D+00 0.8350589D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6305479D-03 0.3321633D-02 0.1648203D-03

NUMBER OF ITERATION= 22

PARAMETER VALUES:
0.4672584D-03 0.1001579D+01 0.8471915D+00 0.8350748D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6302354D-03 0.3319959D-02 0.1647376D-03

NUMBER OF ITERATION= 23

PARAMETER VALUES:
-0.1584226D-03 0.1000953D+01 0.8467003D+00 0.8350652D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6301527D-03 0.3319519D-02 0.1647150D-03

NUMBER OF ITERATION= 24

PARAMETER VALUES:
0.6666758D-04 0.1001179D+01 0.8468770D+00 0.8350686D+00
PERFORMANCE FUNCTION= 0.6300865D-03 0.3319170D-02 0.1646976D-03

NO VARIATION IN RESPONSE
0.4420945D-01 0.4420945D-01 0.4420945D-01
MAGNITUDE OF D= 0.8087805D+00

PARAMETER VALUES:

0.1144620D-04 0.1001234D+01 0.8469204D+00 0.8350695D+00

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER1= 0.6300867D-03

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.000000D+00	0.1000000D+01	0.1001701D+01	-0.1701075D-02
0.100000D+00	0.9999520D+00	0.1001369D+01	-0.1417208D-02
0.200000D+00	0.9992029D+00	0.9997784D+00	-0.5754964D-03
0.300000D+00	0.9959764D+00	0.9951765D+00	0.7999087D-03
0.400000D+00	0.9874425D+00	0.9848229D+00	0.2619567D-02
0.500000D+00	0.9701433D+00	0.9654613D+00	0.4682036D-02
0.600000D+00	0.9408891D+00	0.9342240D+00	0.6665081D-02
0.700000D+00	0.8979917D+00	0.8898040D+00	0.8187653D-02
0.800000D+00	0.8422773D+00	0.8333025D+00	0.8974838D-02
0.900000D+00	0.7770648D+00	0.7681103D+00	0.8954460D-02
0.100000D+01	0.7071075D+00	0.6988046D+00	0.8302874D-02
0.110000D+01	0.6370466D+00	0.6297652D+00	0.7281433D-02
0.120000D+01	0.5703962D+00	0.5642595D+00	0.6136688D-02
0.130000D+01	0.5092440D+00	0.5042092D+00	0.5034785D-02
0.140000D+01	0.4544705D+00	0.4504095D+00	0.4061021D-02
0.170000D+01	0.3269983D+00	0.3249599D+00	0.2038435D-02
0.210000D+01	0.2211432D+00	0.2203450D+00	0.7981595D-03
0.300000D+01	0.9967244D-01	0.1103621D+00	-0.1068970D-01
0.350000D+01	0.8282588D-01	0.8137663D-01	0.1449253D-02
0.500000D+01	0.4078325D-01	0.4002163D-01	0.7616171D-03
0.100000D+02	0.1022068D-01	0.1002136D-01	0.1993157D-03

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER2= 0.3319368D-02

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00	0.0000000D+00
0.100000D+00	0.1570000D+00	0.1437929D+00	0.1320706D-01
0.200000D+00	0.3140000D+00	0.2901974D+00	0.2380260D-01
0.300000D+00	0.4710000D+00	0.4414360D+00	0.2956402D-01
0.400000D+00	0.6280000D+00	0.5988914D+00	0.2910857D-01
0.500000D+00	0.7850000D+00	0.7626063D+00	0.2239366D-01
0.600000D+00	0.9420000D+00	0.9308883D+00	0.1111167D-01
0.700000D+00	0.1099000D+01	0.1100303D+01	-0.1303348D-02
0.800000D+00	0.1256000D+01	0.1266276D+01	-0.1027571D-01
0.900000D+00	0.1413000D+01	0.1424167D+01	-0.1116653D-01
0.100000D+01	0.1570000D+01	0.1570335D+01	-0.3349579D-03

PERFORMANCE FUNCTION NUMBER3= 0.1645979D-03

SAMPLING NUMBER	DESIRED RESPONSE	APPROXIMATING RESPONSE	ERROR
0.100000D+01	0.3048300D+00	0.3039609D+00	0.8691117D-03
0.200000D+01	0.7219000D+00	0.7182190D+00	0.3681021D-02
0.300000D+01	0.9605000D+00	0.9558013D+00	0.4698721D-02
0.400000D+01	0.1038000D+01	0.1034892D+01	0.3108096D-02
0.500000D+01	0.1038000D+01	0.1037472D+01	0.5277634D-03
0.600000D+01	0.1019300D+01	0.1020559D+01	-0.1259219D-02
0.700000D+01	0.1005000D+01	0.1007288D+01	-0.2287849D-02
0.800000D+01	0.9921000D+00	0.1001386D+01	-0.9286093D-02
0.900000D+01	0.9981400D+00	0.1000132D+01	-0.1991617D-02
0.100000D+02	0.9988000D+00	0.1000599D+01	-0.1798991D-02
0.110000D+02	0.9995000D+00	0.1001248D+01	-0.1747631D-02
0.120000D+02	0.9999000D+00	0.1001622D+01	-0.1721675D-02
0.130000D+02	0.1000000D+01	0.1001747D+01	-0.1747042D-02
0.140000D+02	0.1000000D+01	0.1001752D+01	-0.1751738D-02
0.150000D+02	0.1000000D+01	0.1001725D+01	-0.1725384D-02
0.160000D+02	0.1000000D+01	0.1001705D+01	-0.1704542D-02