

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเวฟเลตในระบบควบคุม

นาย ชัยภัทร์ ตันสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-580-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPLICATION OF WAVELETS IN CONTROL SYSTEMS

Mr. Chaiyapat Tunsakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

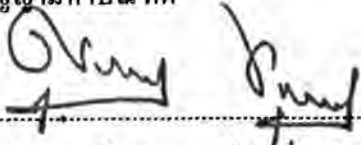
Academic Year 1997

ISBN 974-638-580-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเวฟเล็ดในระบบควบคุม  
โดย นาย ชัยภัทร์ ต้นสกุล  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. บุญมี อย่างธารา

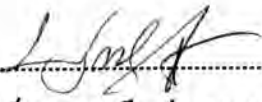
---

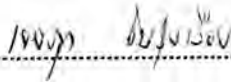
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิศถायน )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ ดร. บุญมี อย่างธารา )

  
..... กรรมการ  
( อาจารย์ ดร. เจษฎา ชินรุ่งเรือง )

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัชภัทร์ ดันสกุล : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตในระบบควบคุม (AN APPLICATION OF WAVELETS IN CONTROL SYSTEMS)

อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. บุญมี อย่างธารา; 78 หน้า. ISBN 974-638-580-1.

ค่าพารามิเตอร์ที่ต่างไปจากค่าที่ระบุทำให้ผลตอบของระบบควบคุมต่างไปจากผลตอบที่ระบุ งานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายเวฟเล็ตเป็นตัวชดเชยในระบบควบคุมแบบปรับตัวเองได้ เพื่อลดความแตกต่างดังกล่าว จากการใช้คอมพิวเตอร์จำลองวิธีการควบคุมดังกล่าว ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา วิศวกรรมควบคุม  
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต ชัชภัทร์ ดันสกุล  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัชภัทร์ ต้นสกุล : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตในระบบควบคุม (AN APPLICATION OF WAVELETS IN CONTROL SYSTEMS)

อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. บุญมี อย่างธารา; 78 หน้า. ISBN 974-638-580-1.

ค่าพารามิเตอร์ที่ต่างไปจากค่าที่ระบุทำให้ผลตอบของระบบควบคุมต่างไปจากผลตอบที่ระบุ งานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายเวฟเล็ตเป็นตัวชดเชยในระบบควบคุมแบบปรับตัวเองได้ เพื่อลดความแตกต่างดังกล่าว จากการใช้คอมพิวเตอร์จำลองวิธีการควบคุมดังกล่าว ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
สาขาวิชา.....ระบบควบคุม.....  
ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ชัชภัทร์ ต้นสกุล.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณมารดาและบิดาของข้าพเจ้าเป็นอย่างสูง ที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน รวมทั้งเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนกระทั่งข้าพเจ้าสามารถประสบความสำเร็จในชีวิตได้อีกขั้นหนึ่ง แม้ว่ามารดาของข้าพเจ้าจะไม่มีโอกาสได้เห็นความสำเร็จครั้งนี้ ท่านก็คงดีใจเป็นอย่างมากถ้าได้ทราบ

นอกจากบิดาและมารดาแล้ว ผู้ที่ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงอีกท่านหนึ่งซึ่งเป็นผู้มีส่วนในความสำเร็จครั้งนี้ของข้าพเจ้าเป็นอย่างมากได้แก่ ดร. บุญมี อย่างธรา ท่านได้ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำที่ดี ให้ความเมตตาปราณี และยังมีกำลังใจให้ข้าพเจ้าในยามที่ข้าพเจ้าหมดหนทางและจนด้วยความคิด

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. เทียนชัย ประดิศถายน ซึ่งเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ ท่านได้ให้ความเมตตาแก่ข้าพเจ้าเสมอมาตั้งแต่ครั้งเรียนระดับปริญญาตรี จวบจนข้าพเจ้าเรียนจบปริญญาโท ณ บัดนี้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. เกษฎา ชินรุ่งเรือง ซึ่งเป็นผู้หนึ่งในคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่านได้ให้คำปรึกษาที่ดี รวมทั้งยังให้ความเมตตาแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมากด้วย

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสร้างคุณประโยชน์อันใดอันหนึ่งแก่ผู้ได้อ่านบ้างไม่มากก็น้อย ถ้าเป็นเช่นนั้นแล้ว ข้าพเจ้าขออุทิศคุณความดีนั้นแก่มารดา บิดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งญาติพี่น้องและเพื่อนที่ได้เป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ถ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมา.....	1
จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์.....	2
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเวฟเล็ดและโครงข่ายเวฟเล็ด.....	3
ทฤษฎีเวฟเล็ด.....	3
ฟังก์ชันมูลฐานในการแปลงเวฟเล็ด.....	3
การแปลงเวฟเล็ดชนิดต่อเนื่อง.....	5
การแปลงเวฟเล็ดชนิดไม่ต่อเนื่อง.....	7
โครงข่ายเวฟเล็ด.....	10
การเรียนรู้ของโครงข่ายเวฟเล็ด.....	11
บทที่ 3 การควบคุมระบบพลวัตด้วยการชดเชยแบบปรับได้โดยใช้เครือข่ายเวฟเล็ด.....	14
ลักษณะการควบคุม.....	14
วิธีการวิจัย.....	18

	หน้า
บทที่ 4 ตัวอย่างการใช้งานโครงข่ายเวฟเล็ด .....	19
ตัวอย่างที่ 1 : ระบบอันดับหนึ่งมีตัวหน่วงเวลา .....	19
ตัวอย่างที่ 2 : ระบบไม่เชิงเส้นอันดับสอง .....	41
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	70
บทสรุป .....	70
ข้อเสนอแนะ .....	71
รายการอ้างอิง .....	73
ภาคผนวก .....	75
ประวัติผู้เขียน .....	79



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4-1 ผลการเรียนรู้ก่อนการใช้งานจริงสำหรับตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี Steepest Descent และ Conjugate Gradient.....	21
ตารางที่ 4-2 ผลการเรียนรู้ก่อนการใช้งานจริงสำหรับตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี Steepest Descent และ Conjugate Gradient.....	43

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1	เวฟเล็ทแม่ $\psi(t)$ และผลการถ่วงและการเลื่อนของเวฟเล็ทแม่ $\psi_{a,b}(t)$ .....5
รูปที่ 2-2	ตำแหน่งของเวฟเล็ทที่ถูกเลื่อนและถ่วงด้วยค่าการเลื่อนและการถ่วงต่างๆ กัน.....8
รูปที่ 2-3	โครงสร้างของโครงข่ายเวฟเล็ทในลักษณะ block diagram.....12
รูปที่ 3-1	วิธีการควบคุมโดยการชดเชยแบบปรับได้ด้วยโครงข่ายเวฟเล็ท .....17
รูปที่ 4-1	สัญญาณอ้างอิง $r$ ตามสมการ (4-4).....20
รูปที่ 4-2	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ 3 เวฟลอน .....22
รูปที่ 4-3	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ 5 เวฟลอน .....22
รูปที่ 4-4	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ 10 เวฟลอน .....23
รูปที่ 4-5	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ 15 เวฟลอน .....23
รูปที่ 4-6	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ 25 เวฟลอน .....24
รูปที่ 4-7	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้วิธี Steepest Descent.....25
รูปที่ 4-8	ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 1 โดยใช้วิธี Conjugate Gradient.....25
รูปที่ 4-9	ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัมโดยมี ค่า $t_d = 0.1$ และ $\alpha_0 = 7.0$ .....27
รูปที่ 4-10	ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.1$ และ $\alpha_0 = 7.0$ .....27
รูปที่ 4-11	ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัมโดยมี ค่า $t_d = 0.1$ และ $\alpha_0 = 8.0$ .....28
รูปที่ 4-12	ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.1$ และ $\alpha_0 = 8.0$ .....28
รูปที่ 4-13	ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัมโดยมี ค่า $t_d = 0.1$ และ $\alpha_0 = 9.0$ .....29



รูปที่ 4-28 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.08$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	36
รูปที่ 4-29 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $t_d = 0.12$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	37
รูปที่ 4-30 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.12$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	37
รูปที่ 4-31 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $t_d = 0.14$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	38
รูปที่ 4-32 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.14$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	38
รูปที่ 4-33 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $t_d = 0.16$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	39
รูปที่ 4-34 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $t_d = 0.16$ และ $\alpha_0 = 10.0$ .....	39
รูปที่ 4-35 แสดงลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มที่มีจุดหมุนเป็นสัญญาณควบคุมตาม สมการ $\ddot{x} = -\frac{g}{l} \cdot \sin(x) + \frac{u}{l} \cdot \cos(x)$ .....	42
รูปที่ 4-36 ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ 3 เวฟลอน .....	44
รูปที่ 4-37 ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ 5 เวฟลอน .....	44
รูปที่ 4-38 ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ 10 เวฟลอน .....	45
รูปที่ 4-39 ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ 15 เวฟลอน .....	45
รูปที่ 4-40 ผลการลู่เข้าของตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ 25 เวฟลอน .....	46
รูปที่ 4-41 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 9.81$ และ $l = 0.45$ .....	48
รูปที่ 4-42 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 9.81$ และ $l = 0.45$ .....	48
รูปที่ 4-43 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 9.81$ และ $l = 0.50$ .....	49







	หน้า
รูปที่ 4-72 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 9.81$ และ $l = 4.0$ .....	63
รูปที่ 4-73 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 0.981$ และ $l = 1.0$ .....	64
รูปที่ 4-74 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 0.981$ และ $l = 1.0$ .....	64
รูปที่ 4-75 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 1.635$ และ $l = 1.0$ .....	65
รูปที่ 4-76 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 1.635$ และ $l = 1.0$ .....	65
รูปที่ 4-77 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 2.4525$ และ $l = 1.0$ .....	66
รูปที่ 4-78 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 2.4525$ และ $l = 1.0$ .....	66
รูปที่ 4-79 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี มีค่า $g = 24.525$ และ $l = 1.0$ .....	67
รูปที่ 4-80 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีมีค่า $g = 24.525$ และ $l = 1.0$ .....	67
รูปที่ 4-81 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธีโมเมนตัม โดยมี ค่า $g = 98.1$ และ $l = 1.0$ .....	68
รูปที่ 4-82 ผลการเรียนรู้ในขณะใช้งานจริงของตัวอย่างที่ 2 ด้วยวิธี DBD โดยมีค่า $g = 98.1$ และ $l = 1.0$ .....	68
รูปที่ ผ-1 แสดงแผนภูมิกระบวนการ EDSC.....	77

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

### คำอธิบายสัญลักษณ์

กำหนดให้สัญลักษณ์ต่อไปนี้มีความหมายตามที่จะได้อธิบายไว้ดังนี้ เว้นเสียแต่ว่าจะได้กำหนดให้เป็นอย่างอื่น

$\mathcal{R}$  เซตที่มีสมาชิกเป็นจำนวนจริง

$\mathcal{R}^n$  เซตที่มีสมาชิกเป็นเวกเตอร์ (vector) มิติ  $n$  และสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์นั้นเป็นจำนวนจริง

$L^2(\mathcal{R}^n)$  เซตที่มีสมาชิกเป็นสัญญาณและสัญญาณเหล่านั้นมีคุณสมบัติ finite energy หรือ squared integrable ทั่วทั้งโดเมน  $\mathcal{R}^n$  กล่าวคือ  $\forall f(\mathbf{x}) \in L^2(\mathcal{R}^n), \mathbf{x} \in \mathcal{R}^n$  จะได้ว่า  $\int_{\mathcal{R}^n} (f(\mathbf{x}))^2 \cdot d\mathbf{x} < \infty$

$Z$  เซตที่มีสมาชิกเป็นค่าจริง (real) และเป็นจำนวนเต็ม

$Z^n$  เซตที่มีสมาชิกเป็นเวกเตอร์มิติ  $n$  และสมาชิกทุกตัวของเวกเตอร์เป็นจำนวนเต็มและเป็นค่าจริง

$\ell^2(Z^n)$  เซตที่มีสมาชิกเป็นลำดับ (sequence) และลำดับเหล่านั้นมีคุณสมบัติ squared summable กล่าวคือ  $\forall g(\mathbf{i}) \in \ell^2(Z^n), \mathbf{i} \in \Theta \subset Z^n$  จะได้ว่า  $\sum_{\mathbf{i}} (g(\mathbf{i}))^2 < \infty$

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวใหญ่ เช่น  $A, a, B, b, m, n, t, x$  เป็นค่าจำนวนจริงใด ๆ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กหนา เช่น  $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{d}, \mathbf{m}, \mathbf{n}, \mathbf{t}, \mathbf{x}$  เป็นเวกเตอร์

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่หนา เช่น  $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{D}, \mathbf{N}$  เป็นเมตริกซ์

$\text{diag}(\mathbf{d})$  เป็นเมตริกซ์ทแยง (diagonal matrix) ที่มีสมาชิกของ  $\mathbf{d}$  เป็นสมาชิกทแยง เมื่อ  $\mathbf{d}$  เป็นเวกเตอร์



**คำอธิบายคำย่อ**

DBD	วิธีการเรียนรู้แบบ Delta Bar Delta
EDSC	วิธีการหาจุดต่ำสุดมิติเดียวชนิด Extended Davie-Swan-Compey