การคำนวณค่าสัญญาณออกสูงสุดสำหรับระบบสังวัตนาการที่มีสัญญาณเข้าสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบเขตหลายเงื่อนไข

นายวฤต ศิลป์ศรีกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPUTATION OF PEAK OUTPUT FOR CONVOLUTION SYSTEMS WITH INPUTS SATISFYING MANY BOUNDING CONDITIONS

Mr. Warit Silpsrikul

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn University

511682

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณค่าสัญญาณออกสูงสุดสำหรับระบบสังวัตนาการที่มีสัญญาณเข้าสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบเขตหลายเงื่อนไข
โดย	นายวฤต ศิลป์ศรีกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุธี ผู้เจริญชนะชัย)

วฤต ศิลป์ศรีกุล: การคำนวณค่าสัญญาณออกสูงสุดสำหรับระบบสังวัตนาการที่มีสัญญาณเข้าสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบเขตหลายเงื่อนไข (COMPUTATION OF PEAK OUTPUT FOR CONVOLUTION SYSTEMS WITH INPUTS SATISFYING MANY BOUNDING CONDITIONS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์, 72 หน้า

การคำนวณดัชนีสมรรถนะเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการออกแบบระบบควบคุม ที่ต้องการรับประกันว่าสัญญาณออกอยู่ในขอบเขตที่กำหนดตลอดเวลาที่ระบบทำงาน แม้ว่าระบบถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณเข้าเป็นไปได้ใดๆ การกำหนดลักษณะของเซตเป็นไปได้ด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลายเงื่อนไขสามารถลดความอนุรักษ์ และทำให้ได้ผลการออกแบบที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตให้กับเซตเป็นไปได้นี้ ก่อให้เกิดความลำบากในการคำนวณดัชนีสมรรถนะโดยการใช้เทคนิคเชิงวิเคราะห์ วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาวิธีคำนวณดัชนีสมรรถนะของระบบเชิงเส้นไม่แปรตามเวลา สำหรับเซตเป็นไปได้ที่กำหนดลักษณะด้วยหลายเงื่อนไขขอบเขตนอร์มสอง และ/หรือ นอร์มอนันต์ของขนาดและความชันของสัญญาณเข้า เทคนิคที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ทำให้ปัญหาการคำนวณดัชนีสมรรถนะ จากเดิมที่เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบคอนเวกซ์ในตัวแปรมิติอนันต์ ประมาณได้ด้วยปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดในตัวแปรมิติจำกัดบนปริภูมิแบบยุคลิด ซึ่งสามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติ การออกแบบระบบควบคุมตึกภายใต้สภาวะแผ่นดินไหวและระบบควบควบคุมหอกลั่นสารสองชนิดถูกพิจารณาเป็นกรณีศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอสามารถนำใช้ได้กับเซตเป็นไปได้ที่มีเงื่อนไขขอบเขตมากกว่า 2 เงื่อนไข และเพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีที่เสนอสามารถใช้กับระบบสังวัตนาการได้หลายประเภทเช่น ระบบอนุพันธ์เศษส่วนที่มีการประวิงเวลาแบบหน่วง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2551

##4771825921: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: PEAK OUTPUT / NORM BOUNDING CONDITIONS / LINEAR SYSTEMS PERFORMANCE / PRINCIPLE OF MATCHING / CONVEX OPTIMIZATION / CONTROL SYSTEMS DESIGN / FRACTIONAL SYSTEMS / METHOD OF INEQUALITIES / BUILDING CONTROL / BINARY DISTILLATION COLUMN

WARIT SILPSRIKUL:COMPUTATION OF PEAK OUTPUT FOR CONVOLUTION SYSTEMS WITH INPUTS SATISFYING MANY BOUNDING CONDITIONS. ADVISOR: SUCHIN ARUNSAWATWONG, Ph.D., 72 pp.

The evaluation of peak outputs is an essential component of control systems design by the principle of matching, where the outputs are required to remain within their prescribed bounds in the presence of all possible inputs. Characterizing a possible set with many bounding conditions can reduce conservatism, thereby yielding a better design. However, this gives rise to difficulty in computing the peak outputs using analytical techniques. This work develops a practical method for computing the peak outputs of linear time-invariant systems for a class of possible sets characterized with many bounding conditions on the two- and/or the infinity-norms of the inputs and their slopes. The original infinite-dimensional convex optimization problem is approximated as a large-scale convex programme defined in a Euclidean space with sparse matrices, which can be solved efficiently in practice. Two case studies of control design for a building subject to seismic disturbances and for a binary distillation column are carried out in order to demonstrate that the proposed method is applicable to not only the possible set characterized with more than two bounding conditions but also a wide class of convolution systems (for example, rational and fractional retarded delay differential systems).

Department : Electrical Engineering
Field of Study : Electrical Engineering
Academic Year : 2008

Student's Signature : .....
Advisor's Signature : .....

กิตติกรรมประกาศ

สิ่งที่ปรากฏให้ผู้เขียนตระหนักมาโดยตลอดคือความมุ่งหวังที่ต้องการให้ลูกได้รับการศึกษาสูงสุดตามแต่ความสามารถที่ลูกพึงจะมี แม่ให้การสนับสนุน และส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ที่เป็นคุณประโยชน์ต่อการศึกษาของลูกมาโดยตลอด แม่ผู้ซึ่งอดทนต่อความเจ็บปวดเพื่อปรารถนาจะได้เห็นสิ่งที่มุ่งหวังไว้ รวมถึงพ่อผู้ซึ่งผู้เขียนมิอาจลืมได้ว่าพ่อเป็นคนจุดประกายความสนใจและความรักที่จะเป็นวิศวกรให้ผู้เขียนตั้งแต่เด็ก พ่อยังแบบอย่างที่ดีในอาชีพนี้ ตลอดจนข้อคิดที่หลากหลายที่พ่อให้เป็นส่วนสำคัญสู่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ลูกขอกราบขอบพระคุณทั้งแม่และพ่อผู้เป็นส่วนสำคัญในผลสำเร็จของวิทยานิพนธ์นี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ และระลึกถึงคุณของคณะครู และคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้อ่านออก เขียนได้ คิดเลขเป็น จนถึงทักษะกระบวนการความคิดต่างๆนานาให้ผู้เขียนได้ทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนแล้วเสร็จ โดยเฉพาะคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ ได้ให้ความรู้ มุมมองที่หลากหลาย กับผู้เขียนในด้านระบบควบคุม ในขณะที่ผู้เขียนได้ศึกษาในสาขาวิชาดังกล่าวตั้งแต่ระดับปริญญาตรี โท และเอก

ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ แนวทาง มุมมอง และปรัชญาที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ การทำงานวิจัย และทำงานวิชาการ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากมหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ ผู้เขียนขอระลึกในคุณข้อนี้อีกประการหนึ่ง

ท้ายสุดผู้เขียนขอบคุณภรรยาที่เข้าใจและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 2

1.3 วัตถุประสงค์ 5

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 6

1.5 ระเบียบวิธีการทำวิทยานิพนธ์ 6

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 6

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 7

1.8 องค์ความรู้ใหม่ที่ได้ 7

2 กรอบงาน Zakian และปัญหาการคำนวณดัชนีสมรรถนะ **9**

2.1 หลักการเข้าคู่ 9

2.2 วิธีอสมการ 10

2.3 ปัญหาการคำนวณดัชนีสมรรถนะ 12

2.4 เซตเป็นไปได้ 13

2.5 ค่าจำกัดของดัชนีสมรรถนะ (Finiteness of performance) 17

2.6 สรุป (Conclusions) 18

3 การคำนวณค่าดรรชนีสมรรถนะ **20**

3.1 การประมาณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 20

3.2 ตัวแทนสัญญาณ (Trajectories representation) 21

3.3 การประมาณอนุพันธ์ 22

3.4 การประมาณปริพันธ์จำกัดเขตด้วยการใช้สูตรนิวตัน-โค้ตส์ (Newton-Cotes formula) .. 23

3.5 เงื่อนไขขอบเขต L_2 23

หน้า

3.6 เงื่อนไขขอบเขต L_∞ 24
3.7 ความเป็นคอนเวกซ์ของปัญหาการคำนวณดัชนีสมรรถนะ 24
3.8 สรุป 27

4 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีสมรรถนะ 28
4.1 ขั้นตอนหลักสำหรับคำนวณดัชนีสมรรถนะ 28
4.2 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีสมรรถนะสำหรับระบบที่มีเสถียรภาพเลขชี้กำลัง 29
4.3 ตัวอย่างเชิงเลข 33
4.4 สรุป 35

5 การออกแบบระบบควบคุมอาคารภายใต้สภาวะแผ่นดินไหว 36
5.1 ความอนุรักษ์ในการออกแบบ 38
5.2 การออกแบบโดยใช้เซตเป็นไปได้ใหม่ 40
5.3 สรุป 41

6 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับหอกลั่นแยกสารสองชนิด 45
6.1 ระบบควบคุมหอกลั่นแยกสารสองชนิด 45
6.2 การควบคุมหอกลั่นด้วยตัวควบคุมแบบ PI 48
6.3 การควบคุมหอกลั่นด้วยตัวควบคุมแบบ FPI 48
6.4 สรุป 50

7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 55
7.1 บทสรุป 55
7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้ 56

รายการอ้างอิง 58

ภาคผนวก 64
ก แบบจำลองระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม 65
ข แบบจำลองอาคารในสภาวะแผ่นดินไหว 65
ค เมทริกซ์ของตัวควบคุม 67
ง รูปคลื่นสัญญาณแผ่นดินไหว 68
จ ตัวประมาณ I_{MN} 69

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 72

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 เซตเป็นไปได้ที่ปรากฏในงานวิจัยก่อนหน้านี้ 15

5.1 นอร์ม L_2 และ L_∞ ของคลื่นแผ่นดินไหว Northridge และ Kobe 39

5.2 ขนาดมากสุดของสัญญาณเข้าใหญ่สุดสำหรับเซต $\mathcal{P}_2^2$ 39

5.3 ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมอาคารภายใต้สภาวะแผ่นดินไหวด้วยตัวควบคุมที่สร้างจาก p_s 40

5.4 ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมที่ออกแบบใหม่โดยใช้เซตเป็นไปได้ $\mathcal{P}_0^2$ 41

5.5 ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมที่ออกแบบใหม่เมื่อถูกรบกวนด้วยคลื่นแผ่นดินไหว Northridge และ Kobe 41

5.6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณดัชนีสมรรถนะกับค่าขอบเขต ε_T 43

5.7 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณดัชนีสมรรถนะกับค่า $\alpha = a\hat{\lambda}$ 44

6.1 นิยามของตัวแปรสำหรับหอกลั่น 46

6.2 ค่าดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมหอกลั่นด้วยตัวควบคุม PI 48

6.3 ค่ามากสุดของสัญญาณออกและสัญญาณควบคุมของระบบควบคุมหอกลั่นเมื่อมีสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม 49

6.4 ค่าดัชนีสมรรนถนะของระบบควบคุมหอกลั่นด้วยตัวควบคุม FPI 50

6.5 ค่ามากสุดของสัญญาณออกและสัญญาณควบคุมของระบบควบคุมหอกลั่นด้วยตัวควบคุม FPI เมื่อมีสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม 51

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1.1 วัตถุประสงค์หลักในการออกแบบ 1

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อม และระบบ 9
2.2 การเข้าคู่กันระหว่างสิ่งแวดล้อม (แทนด้วยเซต $\mathcal{T}$) และระบบ (แทนด้วยเซต $\mathcal{P}$) 10
2.3 กำหนดลักษณะสมบัติเซตเป็นไปได้ใหม่ $\mathcal{P}_a$. 16

4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ M 32
4.2 ผลตอบอิมพัลส์หนึ่งหน่วยของกำลังไฟฟ้าขาออกระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหังลม 34
4.3 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ระหว่างจำนวนตัวแปร 34
4.4 สัญญาณเข้ามากสุดของระบบที่ใช้เป็นตัวอย่างการคำนวณเชิงเลข 35

5.1 ระยะกระจัดระหว่างชั้นเมื่ออาคารถูกแรงกระทำจากแผ่นดินไหว..... 36
5.2 โครงแบบควบคุม..... 37
5.3 เซตเป็นไปได้ $\mathcal{P}_2^2$ และ $\mathcal{P}_0^2$ 40
5.4 ผลตอบต่อคลื่นแผ่นดินไหว Northridge 42
5.5 ผลตอบต่อคลื่นแผ่นดินไหว Kobe 42

6.1 โครงแบบควบคุม..... 46
6.2 ส่วนเพิ่มของอัตราการป้อนสาร 49
6.3 ส่วนเพิ่มของผลภัณฑ์ยอดหอและล่างหอเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม PI 50
6.4 ส่วนเพิ่มของอัตราการไหลกลับและอัตราการต้มซ้ำเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม PI ... 51
6.5 ผลตอบสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วยส่วนเพิ่มผลิตภัณฑ์ยอดหอและล่างหอเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม PI 52
6.6 ผลตอบสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วยอัตราการไหลกลับและอัตราการต้มซ้ำเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม PI 52
6.7 ส่วนเพิ่มของผลภัณฑ์ยอดหอและล่างหอเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม FPI 53
6.8 ส่วนเพิ่มของอัตราการไหลกลับและอัตราการต้มซ้ำเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม FPI... 53
6.9 ผลตอบสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วยส่วนเพิ่มผลิตภัณฑ์ยอดหอและล่างหอเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม FPI 54
6.10 ผลตอบสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วยอัตราการไหลกลับและอัตราการต้มซ้ำเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุม FPI 54

หน้า

7.1 ระบบที่ประกอบด้วยสองช่องสัญญาณเข้า 57
ข.1 โครงสร้างจำลองของอาคารในสภาวะแผ่นดินไหว 66
ง.1 รูปคลื่นสัญญาณแผ่นดินไหว Northridge 69
ง.2 รูปคลื่นสัญญาณแผ่นดินไหว Kobe 69