

หัวข้อคุณูปนิพนธ์	การหาความเหมาะสมที่สุดของโครงสร้างและการควบคุมควบคู่กัน สำหรับการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมเชิงเวลาของระบบสั่นเชิงกล	
ผู้เขียน	นายบุญรักษ์ สุชัยชนาวนิช	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	
คณะกรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร. Matthew O. T. Cole	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
	ดร. นที ทองศิริ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
	รศ.ดร. ชีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาปัญหาการควบคุมแบบออปติมัลเชิงเวลา (time optimal control) ของระบบสั่นเชิงกลที่คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของระบบสามารถปรับให้เหมาะสมได้ด้วยการออกแบบโครงสร้าง ปัญหานี้มีความท้าทายเนื่องจากความซับซ้อนของการเคลื่อนที่อย่างแม่นยำของโครงสร้างยืดหยุ่นโดยไม่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนหลงเหลือ

รูปแบบการแก้ปัญหาพื้นฐานมาจากโครงสร้างระบบสั่นเชิงกลภายใต้การเคลื่อนที่ที่มีเงื่อนไขขอบที่เฉพาะเจาะจงรวมทั้งขนาดของอินพุต (แรง) ที่จำกัด งานวิจัยได้นำเสนอการใช้วิธีหาค่าเหมาะสมเชิงคอนเวกซ์ (convex optimization) เพื่อคำนวณหาอินพุตที่ทำให้เวลาที่ใช้มีค่าน้อยที่สุดสำหรับเงื่อนไขขอบที่กำหนด โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้ใช้วิธีการสร้างเซตที่เข้าถึงได้ (reachable set) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาการเปลี่ยนค่าตัวแปรสถานะของระบบเชิงเส้นใดๆ ที่ผ่านเงื่อนไขของความสามารถในการควบคุมได้ (controllability) และเงื่อนไขที่อินพุตมีขนาดจำกัดและไม่ขึ้นกับตัวแปรสถานะของระบบ

เซตของคำตอบที่ใช้เวลาน้อยที่สุดของปัญหาการควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับระบบที่มีค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขขอบที่แตกต่างกันๆ ได้ถูกรวบรวมและนำมาวิเคราะห์ในเชิงสมรรถนะที่ระบบสามารถทำได้ ด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดแนวคิดในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงสร้างและการควบคุมควบคู่กัน คุณสมบัติความต่อเนื่องของเซตคำตอบทำให้สามารถนำการวิเคราะห์เชิงการรบกวนแบบอันดับหนึ่ง (first order perturbation analysis) มาใช้ได้วิเคราะห์การแปรผันค่าพารามิเตอร์ของระบบในแบบจำลอง นำไปสู่การหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในการออกแบบได้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้จริง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบคำตอบที่คำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับชุดทดลองที่ประกอบไปด้วยการเคลื่อนที่เชิงเส้นของแกนกลยืดหยุ่น

ที่สามารถปรับค่าความแข็งแกร่งได้ นอกจากนี้วิธีหาความเหมาะสมควบคู่ได้ถูกนำไปใช้เพื่อลดเวลาในการเคลื่อนที่โดยการปรับค่าความถี่ธรรมชาติของแขนกลเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขขอบของการเคลื่อนที่

จากผลการศึกษาพบว่า การหาค่าเหมาะสมเชิงคอนเวกซ์ที่ได้นำเสนอนั้นสามารถคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมเชิงเวลาที่ซับซ้อนได้โดยไม่ต้องทำการสุ่มค่าเริ่มต้นของจำนวนครั้งในการสลับค่าอินพุต อีกทั้งยังสามารถใช้หาคำตอบสำหรับระบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) ที่มีแรงเสียดทานคู่ลอสมป์ได้ นอกจากนี้การที่วิธีการหาความเหมาะสมควบคู่ทำให้ค่าพารามิเตอร์ออกแบบสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบของปัญหาได้นั้นยังส่งผลให้เวลาในการเคลื่อนที่สามารถลดลงได้อีกอย่างมีนัย อย่างไรก็ตามการลดลงของเวลาที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขขอบและค่าเริ่มต้นของโครงสร้างที่ได้ออกแบบมา



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Dissertation Title	Simultaneous Optimization of Structure and Control for Time-optimal Motion of Vibratory Mechanical Systems	
Author	Mr. Boonruk Suchaitanawanit	
Degree	Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)	
Advisory Committee	Assoc. Prof. Dr. Matthew O. T. Cole	Advisor
	Dr. Natee Tongsiri	Co-advisor
	Assoc. Prof. Dr. Theeraphong Wongratanaphisan	Co-advisor

ABSTRACT

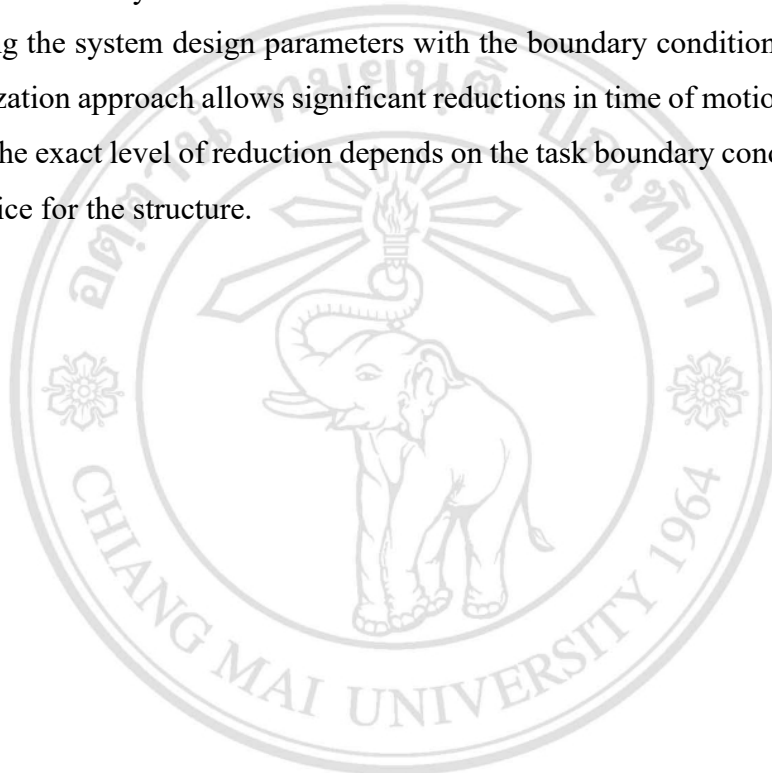
This thesis considers the problem of time-optimal motion control of a mechanical vibratory system for which dynamical properties can be optimized through structural design. The problem is challenging due to the complexity in achieving precise positional changes of a flexible structure without causing residual vibration.

The problem formulation is based on an actuated flexible mechanical structure undergoing a motion task with specified boundary conditions and subject to limits on control input (actuation force). A convex optimization method is proposed for calculating the minimum-time control input solution for given boundary conditions. The algorithm uses an iterative construction of the reachable set and is applicable for solving the minimum-time state transition problem for any linear system satisfying certain conditions of controllability and subject to limits on control input that are not state dependent.

By gathering a set of minimum-time solutions for motion control problems involving different system properties and boundary conditions, the overall characteristics are analyzed and discussed in terms of achievable performance. This serves as motivation for the proposed structure/control optimization concept. Continuity properties of the solution set allow a first order perturbation analysis to be undertaken for variation in parameter values embedded in the system model. From this, an optimization of system design parameters can be achieved. The feasibility of the control approach is verified on an experimental system involving a linear motion stage with tunable-stiffness flexible

armature. A method to implement the time-optimal control solutions obtained from the model-based calculations is presented. The simultaneous optimization method is applied in order to further reduce time of motion by tuning the natural frequency of the armature to match the boundary conditions for the motion task.

The proposed convex optimization method was shown to be capable of calculating complex time-optimal control solutions without requiring any initial assumptions about the number of switches in control input value. The method was also successfully applied to a nonlinear system model that includes Coulomb friction effects. Furthermore, by matching the system design parameters with the boundary conditions, the simultaneous optimization approach allows significant reductions in time of motion to be achieved. However, the exact level of reduction depends on the task boundary conditions and initial design choice for the structure.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved