運用 QFT/H_∞ 方法設計多輸入多輸出之懸吊系統

研究生：林保童　　　　　　　　　　　指導教授: 鄧清政教授

國立交通大學電控工程研究所博士班

摘　　要

本論文將 QFT/H_∞ 之設計方法用於四分之一車子(Quarter Car)的懸吊系統(Suspension System)上，再配合 MIMO 控制理論將控制器設計出來。此四分之一車子的懸吊系統的控制器是以混合靈敏度標準 H_∞ 架構(Mixed Sensitivity Standard H_∞ Regular Structure)計算求得的。此控制器之主要架構亦包含三個權重函數(Weight Function)，此三個權重函數分別為靈敏度權重函數(Sensitivity Weighting Function, W_S)、控制權重函數(Control Effort Weighting Function, W_{un})以及互補靈敏度權重函數(Complementary Sensitivity Weighting Function, W_T)。靈敏度權重函數屬低頻加權，是用來調整靈敏度函數 S。選取夠小的靈敏度權重函數使得在給定的控制頻寬內，以降低干擾，如性能(Performance)，以及選取夠小的互補靈敏度權重函數，使得在希望的控制頻寬以外，能幫助確保較好的穩定度邊界，如穩健度(Robustness)。控制權重函數目的是用來限制系統在高頻時之增益，抑制感測器雜訊干擾，以及調整系統在高頻時增益衰減的速度。

控制方法係結合 QFT/H_∞ 技術解決二維自由度(2-Degree-of-Freedom)之系統。本論文所提出的方法包含兩種型式，第一種是系統有未確定(Uncertainty)變數之穩健控制

(Robust Control)方法。在此控制方法中，控制器是處於一維自由度(1-Degree-of-Freedom)的架構經由 H_∞ 方法所設計的。第二種的設計方法是 H_∞ 結合 QFT 的方法，在迴路外加上一前置濾波器(Prefilter)，此架構為二維自由度之系統。此一架構可藉由傳統控制理論來完成軌跡追蹤(Tracking)的結果，並將 H_∞ 結合 QFT 的設計程序應用到四分之一車的懸吊系統上，使得 MIMO 懸吊系統之位移在給定的邊界內。

QFT/H_∞ Controller Design of an MIMO Suspension System

Student：Bao-Tung Lin Advisor：Prof. Ching-Cheng Teng

Institute of Electrical Control Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This dissertation uses a combined QFT/H_∞ design method for the quarter-model vehicle suspension system to design a controller for the multi-input multi-out (MIMO) control algorithm. This research calculates the controller parameters of the quarter-model suspension system by the mixed-sensitivity standard H_∞ regular structure. The controller of the main structure containing three weighting functions, sensitivity weighting function W_S, control effort weighting function W_{un}, and complementary weighting function W_T. The sensitivity weighting function, weighted for low frequency, shapes sensitivity function S. Choosing W_S to be small inside the desired control bandwidth to achieve good disturbance attenuation (i.e., performance), and choosing W_T to be small outside the control bandwidth, help to ensure a good stability margin (i.e., robustness). A control effort weighting function confines the system gain at high frequency, to suppress sensor noise disturbance, and adjusts the gain decay speed at high frequency. The QFT/H_∞ combined techniques copy a 2-degree-of-freedom (2DOF) system. This dissertation proposes two-types of design methodologies. The first design method describes the robust control method, by which the 1-degree-of-freedom (1DOF) structure designs the controller. The second design method adds a pre-filter into the 1DOF, or the 2DOF structure. The current study uses this structure to outcome tracking by the classical control theory, and applies the combined QFT / H_∞ design procedures in the vehicle quarter-model suspension system, such that displacement of the MIMO suspension system lies in the given boundaries.

Keywords: QFT/ H_∞ ***robustness, Weighting function, MIMO system***

ACKNOWLEDGENT

在這漫長的博士班求學過程中，曾經歷過許多研究瓶頸，無法突破。承蒙指導教授鄧清政老師的殷切指導，黃文楠、張世孟與蔡瑞益同學的鼓勵與協助，同事莊棓仰老師、學弟李義雄、張漢民以及黃正義的共同研討，讓學生得以順利的突破瓶頸，進而能夠順利地完成學位。鄧清政教授的嚴謹教學及做研究的方法與態度，更讓學生獲益良多。此外；他對學生的指導總是循循善誘且盡心盡力，老師的為人處事及待人接物，更值得學生終身學習。

首先要感謝口試委員中山科學研究院總督導長王德勝博士、萬能科技大學洪丈力副教授、元智大學李慶鴻副教授、梁耀文副教授給予學生寶貴的意見及建議。

其次要感謝恩師林育平教授及廖櫻桂博士多年以來的關切及鼓勵。感謝電控工程系所的所有教授提供優質的教學內涵、行政人員的熱忱服務。同時要感謝曾經幫助過我與默默祝福我的朋友們。

最後要感謝我的母親林許葉女士對我的養育之恩以及內人淑琴辛苦地陪我走過博士班的求學生涯，姊姊、哥哥對我的期許與支持，他們在我心目中，總是無怨無悔地付出，好讓我可以專心於課業。願將此份榮耀與欣悅與他們一起分享。

CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

NOMENCLATURE

f_1	: The driving force
f_2	: The driving force
y_1	: The displacement
y_2	: The displacement
M_1	: The mass
M_2	: The mass
B_1	: The damper
B_2	: The damper
K_1	: The spring constant
K_2	: The spring constant
W_s	: The weighting function of sensitivity function
W_{un}	: The weighting function of control effort function
W_T	: The weighting function of complementary sensitivity function
F	: The pre-filter
d	: The disturbance
n	: The sensor noise
G	: The controller
P	: The plant
r	: The input command
z	: The error signal
w	: The external disturbance
ω_n	: Undamped natural
ζ	: Damping ratio
M_P	: Maximum overshoot
t_s	: Settling time