

Study of motion stability simulation and control of variable centroid vehicle

洪秉賢、張一屏

E-mail: 321502@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

The objective for this study is to establish the simulation and evaluation methodology for Variable Centroid Vehicle (VCV) motion stability control system. VCV drive and handling and ride performance parameters such as longitudinal and lateral acceleration, yaw and roll rate and side slip angle can be calculated and compared under different dynamic simulation conditions. The roll rate was assessed with other appropriate control strategies and controllers' settings to assure the VCV can be operating for safe and stable control condition. In this study, object-oriented simulation program Simulink was used to construct the modules including the VCV longitudinal and lateral motion. VCV driving and braking torque management, lateral force and normal force control model, wheel models, were tested and validated by commercial vehicle simulation program CarSim under the same driving conditions. VCV center of gravity height and the length of wheelbase become time-varying input parameters for stability control system. VCV dynamic performance correlations between these two input parameters and the outputs from vehicle stability control system can be observed and vehicle stability can be improved by integrated consideration of traction and braking control to reduce the oversteer and rollover dangerous conditions. The wheel traction slip and brake skid effects under different centroid height and wheel base were simulated and the lateral acceleration, yaw rate performance were also be evaluated at the same conditions. By Hardware-in-Loop,(HIL) technology, the software simulation controller parameters can be converted to real vehicle control signals through CAN bus so that the optimized location of VCV centroid be adjusted to the more safe and stable operating position.

Keywords : Rollover, Roll-Stability Indicator, Vehicle Real-Time Dynamic Stability Control System, Dynamic Performance Hardware-in-Loop Simulation.

Table of Contents

簽名頁 博碩士論文暨電子檔案上網授權書.....	iii	中文摘要.....	iv
ABSTRACT.....	v	誌謝.....	vi
目錄.....	vii	圖目錄.....	x
目錄.....	xvii	符號說明.....	xix
第一章緒論.....	1	1.1 前言.....	1
		1.2 文獻回顧.....	1
第二章研究方法.....	17	2.1 車輛側滾概要.....	17
		2.1.1 車輛側滾現象.....	17
		2.1.2 側滾控制原理.....	18
		2.1.3 主動側滾控制概念.....	18
		2.2 建立車輛平面運動模型.....	23
		2.2.1 車輛環境參數輸入模組.....	24
		2.2.2 輪胎滑移角動態模型建立.....	26
		2.2.3 車輛平面運動動態模型建立.....	32
		2.3 可變重心車輛運動穩定性模型建立.....	39
		2.3.1 三自由度車輛數學模型.....	39
		2.3.2 可變重心車輛運動動態模型.....	46
		2.3.3 可變重心高度與防傾作動器控制器設計.....	52
		2.4 實驗設計法與多目標最佳化.....	54
		2.4.1 實驗設計法.....	55
		2.4.2 多目標性能功效係數最佳化搜尋.....	56
		第三章可變重心車輛運動穩定性模擬系統設計.....	58
		3.1 參數訂定.....	58
		3.1.1 可變重心車輛運動模型與CarSimR車輛模擬軟體參數訂定.....	58
		3.2 可變重心高度與防傾作動器硬體車輛模型.....	63
		3.2.1 可變重心高度車輛與防傾作動器設計.....	64
		3.2.2 直流馬達驅動器硬體設計.....	66
		3.2.3 車輛硬體模型.....	68
		第四章結果與討論.....	74
		4.1 可變重心車輛模型驗證及模擬結果.....	74
		4.2 PI 控制器最佳化參數搜尋.....	90
		4.3 可變重心高度與防傾作動器PI 控制器模擬結果.....	114
		4.4 模組輸出之側滾角ITAE 驗證.....	129
		第五章結論與建議.....	134
		5.1 結論.....	134
		5.2 建議事項與未來研究項目.....	136
		參考文獻.....	137
		圖目錄 圖1.1 不同高低摩擦側路面[3]	3
		圖1.2 車輛轉向操控.....	

動態[12]	5	圖1.3 車輛與輪胎滑移角示意圖[58]	7	圖1.4 橫擺穩定控制工作情形[59]	9
形[59]	9	圖1.5 車輛橫擺控制原理[59]	10	圖1.6 可變重心車輛(TOYOTA-PM)	11
	11	圖1.7 TTR 系統流程圖[52]	12	圖1.8 車輛側滾型	
態[60]	13	圖1.9 車輛側滾風險預言[61]	13	圖2.1 SAE 車輛座標軸系	
統[49]	18	圖2.2 車輛於直線行駛之側向力分析	21	圖2.3 (a)、(b)一般車輛於左轉彎	
之側向力分析	22	圖2.4 (a)、(b)具主動側滾控制之車輛於左轉彎之側向力分析	23	圖2.5 車輛環境行駛負	
荷參數輸入模組	26	圖2.6 SAE 輪胎座標軸系統[49]	26	圖2.7 四輪轉向輪胎滑移角示	
意圖	28	圖2.8 車輛滑移角動態模型程式	28	圖2.9 車輛滑移角動態模	
組	29	圖2.10 Magic Formula 輪胎回正扭矩示意圖	29	圖2.11 輪胎受力總負載模	
型	30	圖2.12 輪胎受力總負載程式	30	圖2.13 模型與CarSimR比較之左前、	
後輪滑移角	31	圖2.14 模型與CarSimR比較之右前、後輪滑移角	31	圖2.15 車輛橫向力動態模	
型	32	圖2.16 車輛橫向力動態模型程式	33	圖2.17 車輛輪胎正向力示意	
圖	34	圖2.18 車輛縱向力動態模型	34	圖2.19 車輛縱向力動態模型程	
式	35	圖2.20 (a)左前輪正向力與CarSimR比較圖	36	圖2.20 (b)左後輪正向力與CarSimR	
比較圖	36	圖2.21 (a)右前輪正向力與CarSimR比較圖	37	圖2.21 (b)右後輪正向力與CarSimR	
比較圖	37	圖2.22 模型側向加速度與CarSimR比較圖	38	圖2.23 模型橫擺率與CarSimR比	
較圖	38	圖2.24 三自由度車輛運動模型車速與轉向角圖	41	圖2.25 三自由度車輛運動模	
型Y 方向受力圖	42	圖2.26 三自由度車輛數學模型側傾方向受力之後視圖	43	圖2.27 三自由度車	
輛數學模型	45	圖2.28 三自由度車輛數學模型與CarSimR輸出之側滾角比較圖	45	圖2.29 車輛	
側滾力矩示意圖	46	圖2.30 側滾臨界值模型	48	圖2.31 車輛運動自由體	
圖	49	圖2.32 可變重心車輛側滾動態模組	51	圖2.33 可變重心車輛側滾動態模	
組程式	51	圖2.34 3dof 與VSDL 與CarSimR輸出之側滾角比較圖	52	圖2.35 側滾控制系統架構	
圖	53	圖2.36 側滾角PI 控制器模型	54	圖2.37 ITAE 計算模	
組	54	圖3.1 CarSimR車輛模擬軟體定義座標	59	圖3.2 CarSimR車輛模擬軟體	
設定界面	62	圖3.3 CarSimR車輛模擬軟體動畫	62	圖3.4 Matlab\SimulinkR模型各參	
數定義	63	圖3.5 可變重心車輛模型設計圖(低速行駛)	64	圖3.6 可變重心車輛模型設計圖(高	
速行駛)	65	圖3.7 防傾作動器車輛模型設計圖	66	圖3.8 驅動器電路	
圖	67	圖3.9 驅動器硬體圖	67	圖3.10 8051 微控器程式	
碼	68	圖3.11 可變重心車輛模型上視圖	69	圖3.12 可變重心車輛模型(低速)	
	69	圖3.13 為可變重心車輛模型(高速)	70	圖3.14 (a)、(b)、(c)防傾作動器車輛模型	
圖	71	圖3.15 防傾作動器車輛模型作動圖(前視)	72	圖3.16 防傾作動器車輛模型作動圖(後視)	
	72	圖4.1 車速輸入條件	75	圖4.2 不同車速下之方向盤轉	
角	75	圖4.3 DLC 路徑	76	圖4.4 車速30km/h, DLC 之側滾角變	
化	77	圖4.5 車速50km/h, DLC 之側滾角變化	77	圖4.6 車速70km/h, DLC 之側滾角變	
化	78	圖4.7 側滾臨界估計值	78	圖4.8 車速30km/h, DLC 重心位置偏左側5、15	
、25 公分之側滾角變化	80	圖4.9 車速50km/h, DLC 重心位置偏左側5、15、25 公分之側滾角變化	80	圖4.10 車	
速70km/h, DLC 重心位置偏左側5、15、25 公分之側滾角變化	81	圖4.11 車速30km/h, DLC 重心位置0.55m 之側滾角變	82	圖4.12 車速50km/h, DLC 重心位置0.55m 之側滾角變化	
化	82	圖4.12 車速50km/h, DLC 重心位置0.55m 之側滾角變化	83	圖4.13 車速70km/h, DLC 重心位	
置0.55m 之側滾角變化	83	圖4.14 車速30、50、70km/h, DLC 重心位置0.55m 之ITAE	84	圖4.15 車	
速30km/h, DLC 重心位置0.88m 之側滾角變化	84	圖4.16 車速50km/h, DLC 重心位置0.88m 之側滾角變	85	圖4.17 車速70km/h, DLC 重心位置0.88m 之側滾角變化	
化	85	圖4.17 車速70km/h, DLC 重心位置0.88m 之側滾角變化	85	圖4.18 車速30、50、70km/h, DLC 重	
心位置0.88m 之ITAE	86	圖4.19 路面振盪輸入條件	87	圖4.20 車速30km/h, DLC 路面振盪	
之側滾角變化	88	圖4.21 車速50km/h, DLC 路面振盪之側滾角變化	88	圖4.22 車速70km/h, DLC	
路面振盪之側滾角變化	89	圖4.23 車速30、50、70km/h, DLC 路面振盪之ITAE	89	圖4.24 可變重	
心高度PI 控制器Kph、Kih 參數比較圖(30km/h)	91	圖4.25 可變重心高度PI 控制器Kph、Kih 參數比較圖(50km/h)	92	圖4.26 可變重心高度PI 控制器Kph、Kih 參數比較圖(70km/h)	
	92	圖4.27 防傾作動器PI 控制器Kpa、Kia 參	93	圖4.28 防傾作動器PI 控制器Kpa、Kia 參數比較圖(50km/h)	
數比較圖(30km/h)	93	圖4.28 防傾作動器PI 控制器Kpa、Kia 參數比較圖(50km/h)	94	圖4.29 防傾作動器PI 控	
制器Kpa、Kia 參數比較圖(70km/h)	94	圖4.30 搜尋之可變重心高度最佳化PI 控制器參數(70km/h)	98	圖4.31	
搜尋之防傾作動器最佳化PI 控制器參數(70km/h)	99	圖4.32 ITAE 與T 對應Kph、Kih 最佳化曲	99	圖4.33 ITAE 與T 對應Kpa、Kia 最佳化曲面(70km/h)	
面(70km/h)	99	圖4.33 ITAE 與T 對應Kpa、Kia 最佳化曲面(70km/h)	100	圖4.34 可變重心Kph、Kih	
參數比較圖	101	圖4.35 防傾作動器Kpa、Kia 參數比較圖	101	圖4.36 可變重心Kph	
、Kih 參數比較圖	102	圖4.37 防傾作動器Kpa、Kia 參數比較圖	103	圖4.38 可變重	
心Kph、Kih 參數比較圖	103	圖4.39 防傾作動器Kpa、Kia 參數比較圖	104	圖4.40 路徑	

模組圖.....	105	圖4.41 實驗設計法搜尋之最佳化PI 控制器參數(30km/h)	106	圖4.42 ITAE
與T 對應Kph、Kih、Kpa、Kia 最佳化曲面(30km/h).....	106	圖4.43 實驗設計法搜尋之最佳化PI 控制器參數(70km/h)		
.....	110	圖4.44 ITAE 與T 對應Kph、Kih、Kpa、Kia 最佳化曲面(70km/h).....	110	圖4.45 車輛重心偏移左側之最佳
化PI 控制器參數(70km/h)	112	圖4.46 ITAE 與T 對應Kph、Kih、Kpa、Kia 最佳化曲面(70km/h).....	112	圖4.47 路
面震盪之最佳化PI 控制器參數.....	113	圖4.48 ITAE 與T 對應Kph、Kih、Kpa、Kia 最佳化曲		
面(70km/h).....	114	圖4.49 車輛重心高度隨車速變化圖.....	115	圖4.50 車速30km/h,DLC 變化之Kph、Kih
控制器輸出側滾角.....	115	圖4.51 車速50km/h,DLC 變化之Kph、Kih 控制器輸出側滾角.....	116	圖4.52 車
速70km/h,DLC 變化之Kph、Kih 控制器輸出側滾角.....	116	圖4.53 車速30km/h,DLC 變化之Kpa、Kia 控制器輸出側滾		
角.....	117	圖4.54 車速50km/h,DLC 變化之Kpa、Kia 控制器輸出側滾角.....	117	圖4.55 車速70km/h,DLC 變化
之Kpa、Kia 控制器輸出側滾角.....	118	圖4.56 車速30km/h,DLC 固定高度輸出之側滾角.....	118	圖4.57 車
速50km/h,DLC 固定高度輸出之側滾角.....	119	圖4.58 車速70km/h,DLC 固定高度輸出之側滾		
角.....	119	圖4.59 車速30km/h,DLC 重心高度變化之輸出側滾角.....	120	圖4.60 車速50km/h,DLC 重心高
度變化之輸出側滾角.....	120	圖4.61 車速70km/h,DLC 重心高度變化之輸出側滾角.....	121	圖4.62 車
速30km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾角.....	121	圖4.63 車速50km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾		
角.....	122	圖4.64 車速70km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾角.....	122	圖4.65 車速30km/h,DLC 變化之重
心偏移輸出側滾角.....	123	圖4.66 車速50km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾角.....	123	圖4.67 車
速70km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾角.....	124	圖4.68 車速30km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾		
角.....	124	圖4.69 車速50km/h,DLC 變化之重心偏移輸出側滾角.....	125	圖4.70 車速70km/h,DLC 變化之重
心偏移輸出側滾角.....	125	圖4.71 車速30km/h,DLC 變化之路面振盪輸出側滾角.....	126	圖4.72 車
速50km/h,DLC 變化之路面振盪輸出側滾角.....	126	圖4.73 車速70km/h,DLC 變化之路面振盪輸出側滾		
角.....	127	圖4.74 車速30km/h,DLC 輸出之ITAE 值.....	129	圖4.75 車速50km/h,DLC 輸出之ITAE
值.....	130	圖4.76 車速70km/h,DLC 輸出之ITAE 值.....	130	圖4.77 車速70km/h,DLC 重心偏
移5 公分輸出之ITAE 值.....	131	圖4.78 車速70km/h,DLC 重心偏移15 公分輸出之ITAE 值.....	131	圖4.79 車
速70km/h,DLC 重心偏移25 公分輸出之ITAE 值.....	132	圖4.80 車速70km/h,DLC 路面震盪輸出之ITAE		
值.....	132	表目錄 表1.1 國內外可變重心輕型載具主要概念車特性.....	14	表1.2 用於車體穩定控制之感
知器進化表[51]	16	表2.1 Magic Formula 參數參照表格.....	30	表3.1 標致206 相關規
格.....	59	表3.2 CarSimR車輛模擬軟體之操作手冊定義.....	60	表3.3 本研究車輛相關規格
表.....	61	表4.1 實驗設計控制器參數三階層分布(30km/h)	95	表4.2 實驗設計控制器參數三
階層分布(50km/h)	95	表4.3 實驗設計控制器參數三階層分布(70km/h)	95	表4.4 實驗設計所得
之PI 控制器參數對應結果(70km/h)	96	表4.5 PI 控制器參數最佳化計算結果(30km/h).....	97	表4.6 PI 控
制器參數最佳化計算結果(50km/h).....	97	表4.7 PI 控制器參數最佳化計算結果(70km/h).....	98	表4.8 實
驗設計控制器參數三階層分布(30km/h)	105	表4.9 PI 控制器參數最佳化計算結果(30km/h).....	107	表4.11 實驗設計控制器參數三階層分布(50km/h)
.....	107	表4.12 PI 控制器參數最佳化計算結果(50km/h)		
.....	107	表4.13 實驗設計控制器參數三階層分布(70km/h)	108	表4.14 PI 控制器參數最佳化計算結
果(70km/h)	108	表4.10 實驗設計所得之PI 控制器參數對應結果(70km/h)	108	表4.15 實驗設計控制器
參數三階層分布(70km/h)	111	表4.16 PI 控制器參數最佳化計算結果(70km/h)	111	表4.17 實驗設
計控制器參數三階層分布(70km/h)	113	表4.18 PI 控制器參數最佳化計算結果(70km/h)	113	

REFERENCES

本研究旨在建立可變重心車輛運動穩定性之模擬控制研究，建立可變重心車輛運動縱向與橫向動態模擬系統，針對其道路行駛性能如加減速、轉彎、剎車制動以及車身重心變化時之側滾率加以評估比較，並配合適當之控制策略及控制器來進一步達成控制可變重心車輛運動穩定性之車體穩態控制目的。本研究以物件導向模擬軟體建立分析車輛運動變化，建構出可變重心車輛動態系統模擬，包括縱、橫向驅動力、牽引力控制、轉向操控穩定控制、制動力分配控制、輪胎動態模型、橫擺模型、側滾模型等，進行可變重心車輛運動穩定性之車性能與控制策略規劃，比較驗證及分析動態模擬系統。研究模擬可變車身重心高度之車體穩定控制動態分析之關係，利用建立之車輛動態系統模型，觀察在不同車速設定下車身重心高度變化之車輛運動，分析控制參數對橫擺與側向速度影響，根據車輛行駛狀況並配合控制器進行計算，可使可變重心車輛更精確地修正重心位置，以更安全之模式配合車輛動態模擬系統以達到穩定操控行駛之設計要求。