

# 自由曲面掃描量測資料之曲面建構與誤差分析研究

李俊賢、王中行

E-mail: 8812182@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究目的是在整合三次元鐳射量測系統 (LS-CMM) 和電腦輔助設計 (CAD) 與電腦輔助製造 (CAM), 建立一逆向工程 (Reverse Engineering) 系統。其涵蓋 (1) 如何在CNC切削中心機上裝設一三次元鐳射量測系統, 能對自由曲面外形進行快速的掃描量測; (2) 如何將量測後之點資料逆向在電腦輔助繪圖系統完成曲面建構, 並能以參數值來改變之, 使其更接近實際模型的曲面形狀; (3) 在CAD系統中, 產生實際加工路徑和NC程式, 再以RS-232和CNC切削中心機連線, 來完成自由曲面的加工; (4) 在三次元精密量床上作誤差分析。本論文先以Ferguson、Bezier、B-Spline等三種曲線、曲面產生原理, 及修正方法來作分析比較, 利用不同的參數來改變曲線、曲面的外形輪廓, 最後選擇了以B-Spline為基底的搓合函數, 達成擬合效果之NURBS曲面理論來作為自由曲面逆向工程的建構依據, 並以NURBS理論導入做為加工輪廓, 以產生加工路徑和NC程式。本研究以Visual Basic程式語言整合一逆向工程系統及點資料過濾重整之模組, 並另以電腦輔助繪圖軟體AutoCAD當曲線曲面圖形顯示介面, 利用AutoLISP語言程式完成曲線建構、曲面建構、加工路徑和NC程式模組; 以CNC切削中心機上之三次元鐳射量測系統為掃描量測工具, 於AutoCAD系統在CAD系統中, 產生曲面建構、加工路徑和NC程式, 再以RS-232和CNC切削中心機連線, 並在CNC切削中心機來作自由曲面的實際加工印證; 最後以接觸式三次元精密量床作誤差比對分析比較, 能滿足模具之設計、製造與品管檢驗的需求, 縮短模具之開發時間。

關鍵詞: 逆向工程; 自由曲面; 三次元鐳射量測系統; 電腦輔助設計; 電腦輔助製造

## 目錄

目錄	頁次	封面	內頁	簽名頁	授權書	.....	iii	中文摘要	.....
.....	iv	英文摘要	.....	v	誌謝	.....			
.....	vii	目錄	.....	viii	圖目錄	.....			
.....	xi	表目錄	.....	xvii	第一章 緒論	.....			
.....	11	1 研究動機	.....	41	2 研究目的	.....			
.....	41	3 文獻回顧	.....	51	3 1 逆向工程相關文獻	.....			
.....	51	3 2 建構曲面相關文獻	.....	61	3 3 3 刀具路徑、檢驗干涉與誤差分析相關文獻	.....			
.....	71	4 研究方法	.....	81	5 研究範圍與限制	.....			
.....	9	第二章 量測系統介紹	.....	102	1 三次元量測技術探討	.....			
.....	102	2 光電量測原理	.....	142	2 1 取像裝置	.....			
.....	172	2 2 三角測距原理	.....	182	3 量測系統架構與功能簡介	.....			
.....	212	4 掃描點資料之處理	.....	232	4 1 掃描點資料處理之方法	.....			
.....	232	4 2 掃描點資料重整	.....	252	4 3 資料點重新縮點	.....			
.....	292	4 4 點資料之平滑化處理	.....	312	5 點資料之過濾重整	.....			
.....	332	5 1 分段取點法	.....	332	5 2 弦差取點法	.....			
.....	34	第三章 自由曲線及曲面的建立	.....	403	1 Ferguson曲線模式	.....			
.....	433	2 Bezier曲線模式	.....	463	2 1 有理化Bezier曲線模式	.....			
.....	483	3 B-Spline曲線模式	.....	503	3 1 Uniform B-Spline曲線模式	.....			
.....	513	3 2 Non-Uniform B-Spline曲線模式	.....	563	3 3 Non-Uniform RationalB-Spline曲線模式	.....			
.....	613	4 Ferguson曲面模式	.....	633	5 Bezier曲面模式	.....			
.....	663	6 B-Spline曲面模式	.....	683	6 1 Uniform B-Spline曲面模式	.....			
.....	683	6 2 NURBS曲面模式	.....	72	第四章 自由曲面之刀具路徑規劃	.....			
.....	774	1 刀具的選用	.....	794	2 刀具位置的計算	.....			
.....	804	3 刀具干涉的檢驗	.....	824	4 刀具加工路徑的規劃	.....			
.....	844	5 重建曲面CAD模型所需資料及格式	.....	904	5 1 量測資料檔	.....			
.....	904	5 2 建構NURBS曲面輸入檔	.....	93	第五章 誤差分析	.....			
.....	965	1 量測儀器簡介	.....	965	2 量測方法	.....			
.....	995	3 誤差比對分析	.....	101	第六章 系統規劃與實作驗證	.....			

.....	106	1 系統規劃	.....	106	2 實作驗證結果
.....	107	3 結果討論	.....	127	第七章 結論與未來展望
.....	129	7.1 結論	.....	129	7.2 未來展望
.....	131	參考文獻	.....	132	圖目錄
產品製造程序	2	圖1.2 逆向工程製造程序	.....	2	圖1.3 傳統製造程序與逆向工程系統的整合型製造系統
.....	3	圖1.4 逆向工程系統流程圖	.....	10	圖2.1 三次元量測技術之演進
.....	13	圖2.2 鐳射測頭元件配置圖	.....	15	圖2.3 可用左、右CCD相機之選擇
.....	16	圖2.4 取像裝置	.....	17	圖2.5 三角測距原理
.....	19	圖2.6 物體成像原理	.....	19	圖2.7 訊號轉換
.....	20	圖2.8 鐳射掃描量測系統畫面	.....	21	圖2.9 量測系統架構
.....	22	圖2.10 重排前的點資料分佈	.....	26	圖2.11 點資料重新排列的分佈
.....	26	圖2.12 重排前點資料分佈	.....	27	圖2.13 重排後點資料分佈
.....	27	圖2.14 增加點後點資料分佈情形	.....	29	圖2.15 減少點後點資料分佈情形
.....	30	圖2.16 以中值法平滑化示意圖	.....	31	圖2.17 以平均法平滑化示意圖
.....	32	圖2.18 以高斯法平滑化示意圖	.....	32	圖2.19 分段取點的點資料分佈
.....	33	圖2.20 點資料分段取點後新排列的分佈	.....	34	圖2.21 弦差法幾何示意圖
.....	34	圖2.22 點資料過濾法流程圖	.....	36	圖2.23 以弦差取點法過濾點資料對話視窗
.....	37	圖2.24 點資料過濾後比較表視窗	.....	37	圖2.25 設定曲面階數
.....	38	圖2.26 過濾後寫出檔案對話視窗	.....	38	圖2.27 原始掃描資料點
.....	38	圖2.28 原始掃描資料點與過濾後之比較	.....	39	圖2.29 過濾後資料點與建構曲面資料點之比較
.....	39	圖3.1 程式檔加入在ACAD.MNU	.....	42	圖3.2 下拉式功能表
.....	43	圖3.3 不同切線向量所形成的曲線	.....	45	圖3.4 三次式Bezier形成之曲線
.....	47	圖3.5 加入不同的加權值對Bezier曲線形狀的影響	.....	49	圖3.6 $n=4, k=1$ 摻合函數產生之圖形
.....	52	圖3.7 各階摻合函數產生之圖形	.....	52	圖3.8 UB曲線之擬合點產生原理
.....	53	圖3.9 六個控制點繪出之三次UB曲線	.....	54	圖3.10 在起始點給定連續三點可達成起點連接
.....	55	圖3.11 在終點給定連續三點可達成終點連接	.....	55	圖3.12 在起點與終點均給定連續三點可達成首尾連接
.....	55	圖3.13 $n=4, k=1$ NUB摻合函數產生之圖形	.....	56	圖3.14 NUB摻合函數產生之圖形
.....	56	圖3.15 節距值的變化可使NUB轉換為UB或Bezier	.....	58	圖3.16 將給定點當控制點曲線之形狀
.....	59	圖3.17 將給定點當擬合點產生曲線之形狀	.....	59	圖3.18 將給定點當控制點曲線之形狀
.....	61	圖3.19 將給定點當擬合點曲線之形狀	.....	61	圖3.20 不同的加權值對B-Spline曲線之影響
.....	62	圖3.21 UB與NUB及NURB曲線之比較	.....	62	圖3.22 Ferguson理論產生的扭轉曲面
.....	65	圖3.23 Ferguson理論產生的三角曲面	.....	65	圖3.24 輸入控制點產生不同形狀的Bezier曲面
.....	67	圖3.25 改變控制點產生不同形狀的Bezier曲面	.....	70	圖3.26 以16個控制點產生的UBSS曲面
.....	70	圖3.27 以不同16個控制點產生的UBSS曲面狀況	.....	72	圖3.28 利用擬合點所產生的UBSS曲面
.....	74	圖3.29 導入參數值產生的NURBS曲面狀況	.....	75	圖4.1 點接觸的直線切削加工
.....	79	圖4.2 線接觸的面切削加工	.....	79	圖4.3 點接觸的面切削加工
.....	80	圖4.4 球端銑刀之刀具Offset	.....	81	圖4.5 正面銑刀之刀具Offset
.....	81	圖4.6 自由曲面切削時造成干涉的現象	.....	83	圖4.7 刀具的移動方式
.....	85	圖4.8 本研究中採用刀具的移動方式	.....	85	圖4.9 以球端銑刀加工時的面粗糙度
.....	86	圖4.10 刀具路徑產生原理說明	.....	88	圖4.11 自由曲面的粗切削加工路徑
.....	89	圖4.12 自由曲面的精切削加工路徑	.....	89	圖4.13 加工完成之自由曲面工件
.....	97	圖5.1 ZEISS C-700三次元量測儀	.....	97	圖5.2 ZEISS電子觸發式探頭與探針
.....	98	圖5.3 量測標準球上的五個點	.....	99	圖5.4 CNS幾何公差的種類
.....	101	圖5.5 曲線輪廓度	.....	102	圖5.6 曲線輪廓度
.....	103	圖5.7 誤差比對輸出圖形顯示	.....	104	圖5.8 誤差比對分析資料
.....	105	圖6.1 逆向工程應用系統之主功能視窗	.....	107	圖6.2 逆向工程系統流程圖
.....	108	圖6.3 大發1000cc小貨車之前角燈	.....	109	圖6.4 噴白色平光漆之大發1000cc前角燈
.....	109	圖6.5 裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈	.....	110	圖6.6 噴白色平光漆之裕隆寶馬1200cc前角燈
.....	110	圖6.7 鐳射掃描量測系統	.....	111	圖6.8 CNC切削中心機上裝設一非接觸鐳射測頭
.....	111	圖6.9 鐳射掃描量測大發1000cc小貨車之前角燈	.....	112	圖6.10 鐳射掃描量測裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈

112 圖6.11 大發1000cc小貨車之前角燈1600量測點建構NURBS 曲面 .....	113
圖6.12 裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈以1600量測點建構 NURBS曲面 .....	113 圖6.13
以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱 (大發1000cc前角燈) .....	114 圖6.14
以R5球刀之路徑模擬 (大發1000cc前角燈) .....	114 圖6.15 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱 (大發1000cc前角燈) .....
115 圖6.16 以R3球刀之路徑模擬 (大發1000cc前角燈) .....	115 圖6.17
以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱 (裕隆寶馬1200cc前角燈) .....	116 圖6.18
以R5球刀之路徑模擬 (裕隆寶馬1200cc前角燈) ...	116 圖6.19 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱 (裕隆寶馬1200cc前角燈) .....
117 圖6.20 以R3球刀之路徑模擬 (隆寶馬1200cc前角燈) .....	117 圖6.21
球型銑刀R5實際加工 .....	120 圖6.22 球型銑刀R3實際加工 .....
120 圖6.23 大發1000cc小貨車前角燈之完成品 .....	121 圖6.24 裕隆寶馬1200cc箱型車前角燈之完成品 .....
121 圖6.25 ZEISS C-700三次元座標量測儀 .....	122 圖6.26 ZEISS C-700三次元座標量測儀進行誤差比對量測 ...
122 圖6.27 誤差比對分析圖形顯示 .....	123 圖6.28 誤差比對分析資料1輸出 .....
123 圖6.29 誤差比對分析資料2輸出 .....	124 圖6.30 誤差比對分析資料3輸出 .....
124 圖6.31 誤差比對分析資料4輸出 .....	124 圖6.32 誤差比對分析圖形顯示 .....
125 圖6.33 誤差比對分析資料1輸出 .....	125 圖6.34 誤差比對分析資料2輸出 .....
126 圖6.35 誤差比對分析資料3輸出 .....	126 圖6.36 誤差比對分析資料4輸出 .....
126 表 目錄 表4.1 球端銑刀加工時的面粗糙度比較 .....	87 表4.2 量測點資料ASCII 檔案格式 目錄 .....
91 表4.3 NURBS曲面輸入資料檔格式 .....	94

## 參考文獻

The Study of Construct Surface and Error Analysis with Freeform Surface Scan Measurement Data 指導教授: 王 中 行 指導教授(英文姓名): C.S.Wang 學位類別: 碩士 校院名稱: 大葉大學 系所名稱: 機械工程研究所 學號: 857216 學年度: 87 語文別: 中文 論文頁數: 132 關鍵詞: 逆向工程; 自由曲面; 三次元鐳射量測系統; 電腦輔助設計; 電腦輔助製造 英文關鍵詞: Reverse Engineering; free-form surfaces; laser scanning measuring system; Computer Aided Design; Computer Aided Manufacturing 被引用次數: 2 [摘要] 本研究目的是在整合三次元鐳射量測系統 (LS-CMM) 和電腦輔助設計 (CAD) 與電腦輔助製造 (CAM), 建立一逆向工程 (Reverse Engineering) 系統。其涵蓋 (1) 如何在CNC切削中心機上裝設一三次元鐳射量測系統, 能對自由曲面外形進行快速的掃描量測; (2) 如何將量測後之點資料逆向在電腦輔助繪圖系統完成曲面建構, 並能以參數值來改變之, 使其更接近實際模型的曲面形狀; (3) 在CAD系統中, 產生實際加工路徑和NC程式, 再以RS-232和CNC切削中心機連線, 來完成自由曲面的加工; (4) 在三次元精密量床上作誤差分析。本論文先以Ferguson、Bezier、B-Spline等三種曲線、曲面產生原理, 及修正方法來作分析比較, 利用不同的參數來改變曲線、曲面的外形輪廓, 最後選擇了以B-Spline為基底的搓合函數, 達成擬合效果之NURBS曲面理論來作為自由曲面逆向工程的建構依據, 並以NURBS理論導入做為加工輪廓, 以產生加工路徑和NC程式。本研究以Visual Basic程式語言整合一逆向工程系統及點資料過濾重整之模組, 並另以電腦輔助繪圖軟體AutoCAD當曲線曲面圖形顯示介面, 利用AutoLISP語言程式完成曲線建構、曲面建構、加工路徑和NC程式模組; 以CNC切削中心機上之三次元鐳射量測系統為掃描量測工具, 於AutoCAD系統在CAD系統中, 產生曲面建構、加工路徑和NC程式, 再以RS-232和CNC切削中心機連線, 並在CNC切削中心機來作自由曲面的實際加工印證; 最後以接觸式三次元精密量床作誤差比對分析比較, 能滿足模具之設計、製造與品管檢驗的需求, 縮短模具之開發時間。

[英文摘要] This research is to integrate 3D LS-CMM (laser scanning measuring system), CAD (Computer Aided Design), and CAM (Computer Aided Manufacturing) to construct a reverse engineering. The following objects will be reached, first, to device a 3D Laser CMM in the CNC milling machine with free-form surfaces can be fast scanning. second, to convert the 3D Laser CMM measured data and to construct curves and surface patches. third, to show the cutting path simulation directly in AutoCAD model and generate NC programming. After achieving the above aims, the NC program can via RS-232 connecting with a CNC milling machine transfer to accomplish the free-form surfaces machining. fourth, the CMM system is used error analysis. This thesis is based on Ferguson, Bezier, B-Spline algorithm for the analysis of curves, surfaces generation and modification. Different parameters are used to change the profile of curves and surfaces. The fitting effect of NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline Surface) algorithm can be accomplished by using blending function of B-Spline for the basis of the free-form surface's reverse engineering system. NURBS algorithm is used as the machining profile to generate cutting path and NC programming. Visual Basic language is used to construct a reverse engineering and to reorganize the 3D laser CMM measured data. AutoCAD is the graphics display interface used as the curve's and surface's construction. By using AutoLISP language curves, surface's, cutting path, and NC programming model can be completed. The 3D laser scanning measuring system is used as the free-form surface's measuring instrument. The output from the NC program generation from AutoCAD. The correctness of real free-form surfaces machining can be completed by using CNC milling machine. After that, the CMM system is used error analysis. The mode of design can be contented, to require of manufacture and check quality, to shorten develop times.

[論文目次] 目錄 頁次 封面內頁 簽名頁 授權書 .....	iii 中文摘要 .....
iv 英文摘要 .....	v 誌謝 .....

.....	vii 目錄	.....	viii 圖目錄
.....	xi 表目錄	.....	xvii 第一章 緒論
.....	11 1 研究動機	.....	41 2 研究目的
.....	41 3 文獻回顧	.....	41 3 2 建構曲面相關文獻
.....	51 3 3 1 逆向工程相關文獻	.....	51 3 2 建構曲面相關文獻
.....	61 3 3 3 刀具路徑、檢驗干涉與誤差分析相關文獻	.....	71 4 研究方法
.....	81 5 研究範圍與限制	.....	9 第二章 量測系統介紹
.....	102 1 三次元量測技術探討	.....	102 2 光電量測原理
.....	142 2 1 取像裝置	.....	172 2 2 三角測距原理
.....	182 3 量測系統架構與功能簡介	.....	212 4 掃描點資料之處理
.....	232 4 2 掃描點資料重整	.....	232 4 1 掃描點資料處理之方法
.....	252 4 3 資料點重新縮點	.....	292 4 4 點資料之平滑化處理
.....	312 5 點資料之過濾重整	.....	332 5 2 弦差取點法
.....	34 第三章 自由曲線及曲面的建立	.....	403 1 Ferguson曲線模式
.....	433 2 Bezier曲線模式	.....	463 2 1 有理化Bezier曲線模式
.....	483 3 B-Spline曲線模式	.....	503 3 1 Uniform B-Spline曲線模式
.....	513 3 2 Non-Uniform B-Spline曲線模式	.....	563 3 3 Non-Uniform RationalB-Spline曲線模式
.....	613 4 Ferguson曲面模式	.....	633 5 Bezier曲面模式
.....	663 6 B-Spline曲面模式	.....	683 6 1 Uniform B-Spline曲面模式
.....	683 6 2 NURBS曲面模式	.....	72 第四章 自由曲面之刀具路徑規劃
.....	774 1 刀具的選用	.....	794 2 刀具位置的計算
.....	804 3 刀具干涉的檢驗	.....	824 4 刀具加工路徑的規劃
.....	844 5 重建曲面CAD模型所需資料及格式	.....	904 5 1 量測資料檔
.....	904 5 2 建構NURBS曲面輸入檔	.....	93 第五章 誤差分析
.....	965 1 量測儀器簡介	.....	965 2 量測方法
.....	995 3 誤差比對分析	.....	101 第六章 系統規劃與實作驗證
.....	1066 1 系統規劃	.....	1066 2 實作驗證結果
.....	1076 3 結果討論	.....	127 第七章 結論與未來展望
.....	129 7.1 結論	.....	129 7.2 未來展望
.....	131 參考文獻	.....	132 圖目錄
.....	132 圖1.1 傳統產品製造程序	.....	2 圖1.2 逆向工程製造程序
.....	2 圖1.3 傳統製造程序與逆向工程系統的整合型製造系統	.....	3 圖1.4 逆向工程系統流程圖
.....	10 圖2.1 三次元量測技術之演進	.....	13 圖2.2 鐳射測頭元件配置圖
.....	15 圖2.3 可用左、右CCD相機之選擇	.....	16 圖2.4 取像裝置
.....	17 圖2.5 三角測距原理	.....	19 圖2.6 物體成像原理
.....	19 圖2.7 訊號轉換	.....	20 圖2.8 鐳射掃描量測系統畫面
.....	21 圖2.9 量測系統架構	.....	22 圖2.10 重排前的點資料分佈
.....	26 圖2.11 點資料重新排列的分佈	.....	26 圖2.12 重排前點資料分佈
.....	27 圖2.13 重排後點資料分佈	.....	27 圖2.14 增加點後點資料分佈情形
.....	29 圖2.15 減少點後點資料分佈情形	.....	30 圖2.16 以中值法平滑化示意圖
.....	31 圖2.17 以平均法平滑化示意圖	.....	32 圖2.18 以高斯法平滑化示意圖
.....	32 圖2.19 分段取點的點資料分佈	.....	33 圖2.20 點資料分段取點後新排列的分佈
.....	34 圖2.21 弦差法幾何示意圖	.....	36 圖2.23 以弦差取點法過濾點資料對話視窗
.....	37 圖2.24 點資料過濾後比較表視窗	.....	37 圖2.25 設定曲面階數
.....	37 圖2.26 過濾後寫出檔案對話視窗	.....	38 圖2.27 原始掃描資料點
.....	38 圖2.28 原始掃描資料點與過濾後之比較	.....	39 圖2.29 過濾後資料點與建構曲面資料點之比較
.....	39 圖3.1 程式檔加入在ACAD.MNU	.....	42 圖3.2 下拉式功能表
.....	43 圖3.3 不同切線向量所形成的曲線	.....	45 圖3.4 三次式Bezier形成之曲線
.....	47 圖3.5 加入不同的加權值對Bezier曲線形狀的影響	.....	49 圖3.6 n=4, k=1 摻合函數產生之圖形
.....	52 圖3.7 各階摻合函數產生之圖形	.....	52 圖3.8 UB曲線之擬合點產生原理
.....	54 圖3.9 六個控制點繪出之三次UB曲線	.....	55 圖3.10 在起始點給定連續三點可達成起點連接
.....	55 圖3.11 在終點給定連續三點可達成終點連接	.....	55 圖3.12 在起點與終點均給定連續三點可達成首尾連接
.....	56 圖3.13 n=4, k=1 NUB摻合函數產生之圖形	.....	56 圖3.14 NUB摻合函數產生之圖形
.....	58 圖3.15 節距值的變化可使NUB轉換為UB或Bezier	.....	59 圖3.16 將給定點當控制點曲線之形狀
.....	59 圖3.17 將給定點當擬合點產生曲線之形狀	.....	61 圖3.18 將給定點當控制點曲線之形狀
.....	61 圖3.19 將給定點當擬合點曲線之形狀	.....	62 圖3.20 不同的加權值對B-Spline曲線之影響
.....	62 圖3.21 UB與NUB及NURB曲線之比較	.....	65 圖3.22 Ferguson理論產生的扭轉曲面
.....	65 圖3.23 Ferguson理論產生的三角曲面	.....	

..... 65	圖3.24 輸入控制點產生不同形狀的Bezier曲面	..... 67	圖3.25 改變控制點產生不同形狀的Bezier曲面	.....
... 67	圖3.26 以16個控制點產生的UBSS曲面	..... 70	圖3.27 以不同16個控制點產生的UBSS曲面狀況	..... 70
圖3.28	利用擬合點所產生的UBSS曲面	..... 72	圖3.29 導入參數值產生的 NURBS曲面狀況	..... 74
參數值後所產生的NURBS曲面狀況	..... 75	圖4.1 點接觸的直線切削加工	..... 79	圖4.2 線接觸的面切削加工
..... 79	圖4.3 點接觸的面切削加工	..... 80	圖4.4 球端銑刀之刀具Offset	.....
..... 81	圖4.5 正面銑刀之刀具Offset	..... 81	圖4.6 自由曲面切削時造成干涉的現象	.....
..... 83	圖4.7 刀具的移動方式	..... 85	圖4.8 本研究中採用刀具的移動方式	.....
..... 85	圖4.9 以球端銑刀加工時的面粗糙度	..... 86	圖4.10 刀具路徑產生原理說明	.....
88	圖4.11 自由曲面的粗切削加工路徑	..... 89	圖4.12 自由曲面的精切削加工路徑	..... 89
圖4.13	加工完成之自由曲面工件	..... 89	圖5.1 ZEISS C-700三次元量測儀	..... 97
ZEISS電子觸發式探頭與探針	..... 98	圖5.3 量測標準球上的五個點	..... 99	圖5.4 CNS幾何公差的種類
..... 101	圖5.5 曲線輪廓度	..... 102	圖5.6 曲線輪廓度	.....
..... 103	圖5.7 誤差比對輸出圖形顯示	..... 104	圖5.8 誤差比對分析資料	.....
..... 105	圖6.1 逆向工程應用系統之主功能視窗	..... 107	圖6.2 逆向工程系統流程圖	.....
..... 108	圖6.3 大發1000cc小貨車之前角燈	..... 109	圖6.4 噴白色平光漆之大發1000cc前角燈	.....
..... 109	圖6.5 裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈	..... 110	圖6.6 噴白色平光漆之裕隆寶馬1200cc前角燈	.....
..... 110	圖6.7 鐳射掃描量測系統	..... 111	圖6.8 CNC切削中心機上裝設一非接觸鐳射測頭	.....
111	圖6.9 鐳射掃描量測大發1000cc小貨車之前角燈	..... 112	圖6.10 鐳射掃描量測裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈	..... 112
大發1000cc小貨車之前角燈1600量測點建構NURBS 曲面	..... 113	圖6.12 裕隆寶馬1200cc箱型車之前角燈以1600量測點建構 NURBS曲面	..... 113	圖6.13 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱（大發1000cc前角燈）
..... 114	圖6.14 以R5球刀之路徑模擬（大發1000cc前角燈）	..... 114	圖6.15 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱（大發1000cc前角燈）	..... 115
..... 115	圖6.17 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱（裕隆寶馬1200cc前角燈）	..... 116	圖6.18 以R5球刀之路徑模擬（裕隆寶馬1200cc前角燈）	..... 116
..... 116	圖6.19 以對話式輸入加工參數、檔案名稱及輸出NC檔案名稱（裕隆寶馬1200cc前角燈）	..... 117	圖6.20 以R3球刀之路徑模擬（隆寶馬1200cc前角燈）	..... 117
117	圖6.21 球型銑刀R5實際加工	..... 120	圖6.22 球型銑刀R3實際加工	..... 120
圖6.23 大發1000cc小貨車前角燈之完成品	..... 121	圖6.24 裕隆寶馬1200cc箱型車前角燈之完成品	..... 121	圖6.25 ZEISS C-700三次元座標量測儀
..... 122	圖6.26 ZEISS C-700三次元座標量測儀進行誤差比對量測	..... 122	圖6.27 誤差比對分析圖形顯示	..... 123
..... 123	圖6.28 誤差比對分析資料1輸出	..... 123	圖6.29 誤差比對分析資料2輸出	..... 124
..... 124	圖6.30 誤差比對分析資料3輸出	..... 124	圖6.31 誤差比對分析資料4輸出	..... 124
..... 124	圖6.32 誤差比對分析圖形顯示	..... 125	圖6.33 誤差比對分析資料1輸出	..... 125
..... 125	圖6.34 誤差比對分析資料2輸出	..... 126	圖6.35 誤差比對分析資料3輸出	..... 126
..... 126	圖6.36 誤差比對分析資料4輸出	..... 126	表 目錄表4.1 球端銑刀加工時的面粗糙度比較	..... 87
..... 87	表4.2 量測點資料ASCII 檔案格式	..... 91	表4.3 NURBS曲面輸入資料檔格式	..... 94
..... 94	[ 參考文獻] 參考文獻 1.H. T. Yan, S. U. Hague and C. H. Menq, "Reverse Engineering in the Design of Engine Intake and Exhaust Ports", Proceedings of the Symposium on Computer-Controlled Machines for Manufacturing, ASME Winter Annual Meeting, New Orleans, LA, Dec 1993 2.C. H. Meng, H. T. Yau and G. Y. Lai, "Automated Precision Measurement of Surface Profile in CAD-Directed Inspection", IEEE Log Number 9105257 ,pp268-277,1992 3.H. P. Bao, P. Sounder and T. Yang, "Integrated Approach to Design and Manufacture of Shoe Lasts for Orthopaedic Use", Computers ind.Vol.26 No.2 pp411-421,1994 4.L. Piegil"Key Developments in Computer-Aided Geometric Design", Computer-Aided Design, Vol.21 No.5 pp262-273, 1989 5.A. R. Forrest, "Interactive Interpolation and Approximation by Bezier Polynomials", Computer-Aided Design, Vol.22 No.9 pp527-537, 1990 6.B. K. Choi, "Surface Modeling for CAD/CAM", Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo,1991 7. L. Piegil, "Modifying the Shape of Rational B-Spline.Part.1: Curves", Computer-Aided Design, Vol.21 No.8 pp509-518, 1989 8.L. Piegil, "Modifying the Shape of Rational B-Spline.Part.2: Surfaces", Computer-Aided Design, Vol.21 No.9 pp538-546, 1989 9.J. E. Bobrow, "NC Machine Tool Path Generation from CSG Part Representations", Computer-Aided Design, Vol.17 No.9 pp69-76, 1985 10.G. C. Loney, T. M. Ozsoy, "NC Machine of Free Form Surface ", Computer-Aided Design, Vol.19 No.2 pp85-90, 1987 11.B. K. Choi and C. S. Jun, "Ball-End Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Sculptured Surface", Computer-Aided Design, Vol.21 No.6 pp371-378, 1989 12. E. M. Michael, John Wiley & Sons, "Geometric Modeling", John Wiley & Sons New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore(1985) 13.S. S. Yong and K.Lee, "NC Mill Tool Path Generation for Arbitrary Pockets Defined by Sculptured Surface", Computer-Aided Design, Vol.22 No.5 pp273-284, 1990 14.C.T.Chang, A.R.Wysk, and H.P.Wang, " Computer-Aided Manufacturing " Prentice-Hall INC ,1991 15.王惠民、林高輝與章明, "SP2量測技術在逆向工程與電腦輔助設計與製造系統之整合研究",中國機械工程學會 第十三屆學術研討會,1996 16.張師敏, "不同曲面模型在模具設計與製造上之研究",大葉工學院機械研究所碩士論文, 1994 17.劉德進, "以逆向工程構建任意形狀曲線與曲面",大葉工學院機械研究所碩士論文, 1995 18.連華得, "CMM與CAD/CAM系統在模具整合製造上的應用",私立元智工學院機械研究所碩士論文, 1994 19.工研院光電所, "鐳射量測系統簡介", 1995/3 20.方子豪, "電腦輔助逆向工程之研究與應用",工業技術學院機械工程研究所碩士論文			

, 1995 21.郭子鑫, "電腦輔助三次元曲面輪廓量測系統", 機械工業雜誌, 1994/12 22.陳大潘,傅青煌,許進忠, "一般曲面之自動製造",第一屆全國自動化科技研討會論文集pp223-237,1987 23.黃忠良譯東京機械Machining Center研究會, "現代加工技術MC綜合切削中心實務",復漢出版, 1993 24.林永森,"CADD軟體建構自由曲線及曲面功能之研究",國立台灣師範大學工業教育工業技研究所碩士論文, 1994, 25.范光照,"使用三次元量測儀作自動化尺寸檢驗",機械月刊第二十卷第二期, pp150-154,1994 26.張士行,"用三次元量測機與微電腦作平版凸輪的電腦輔助設計", 技術學刊第三卷第一期, pp27-32, 1988 27.邱顯智, "逆向工程 點資料前置處理與曲面重建"國立中正大學機械工程研究所碩士論文, 1996