

# 目 錄

中文提要	i
英文提要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
符號說明	xi
一、 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 文獻探討	2
1.3.1 空間規劃的相關文獻	3
1.3.2 避碰軌跡的相關文獻	4
1.3.3 最短路徑的相關文獻	7
1.4 論文架構	13
二、 敞開式多面體之路徑規劃	15
2.1 網格規劃法	15
2.2 迪吉斯拖演算法	25
2.3 範例說明	28
2.4 討論	35
三、 搭接式多面體之路徑規劃	36
3.1 關節障礙之架構空間	36
3.2 利用 B-Spline 建構障礙空間曲面	38
3.3 機械手臂在障礙曲面上的工作點	41
3.4 疊代平面 (Overlapping Plane)	42
3.5 最短路徑	46
3.6 範例說明	47
3.7 討論	50
四、 封閉式多面體之路徑規劃	51
4.1 Brute Force 方法	51
4.2 最短路徑	54
4.3 範例說明	54
4.4 規則曲面之最短路徑	55
4.4.1 起點與終點均座落在圓柱表面上之路徑	55
4.4.2 起點與終點均座落在圓錐表面上之路徑	58

4.4.3	起點與終點均座落在圓柱表面外之路徑	61
4.4.4	起點與終點均座落在圓錐表面外之路徑	66
4.5	討論	70
五、	可展開成平面多面體之路徑規劃	72
5.1	機械手之工作狀況	72
5.2	座標轉換	73
5.2.1	由參考座標轉換成新座標	73
5.2.2	由已知之新座標轉換成原參考座標	75
5.3	資料結構	76
5.4	平面展開	77
5.5	圓柱的展開	82
5.6	圓錐的展開	83
5.7	最短路徑	84
5.8	討論	86
六、	多面體路徑規劃之應用	87
6.1	多面體與弧形曲面之建立	87
6.2	以 NURBS 曲線來連接路徑使其更貼近弧面	89
6.3	邊界分割法之運用	96
6.4	最短路徑	98
6.4.1	以網格規劃法在綴面多面體上規劃最短路徑	98
6.4.2	以邊界分割法先在弧形曲面上規劃最短路徑	99
6.4.3	以 Brute Force 法再求取精確之最短路徑	101
6.5	範例比較	102
6.6	應用	104
6.7	討論	107
七、	結論	108
	參考文獻	109
	簡歷自傳	111

## 表目錄

表 1.1	路徑規劃時所採用的空間規劃	4
表 1.2	路徑規劃時所採用的避碰方法	7
表 1.3	路徑規劃時所需計算次數及使用幫法與使用範圍	12
表 2.1	從起點 1 至終點 6 的鄰接矩陣	27
表 2.2	從任意起點至任意終點的軌跡矩陣	27
表 2.3	從起點至終點的路徑軌跡	33
表 3.1	計算結果比較及誤差值	49
表 4.1	在圓柱上計算結果與不同等份所求得之結果	58
表 4.2	在圓錐上計算結果與不同等份所求得之結果	61
表 4.3	起點與終點不在圓柱表面上之最短路徑	66
表 4.4	起點與終點不在圓錐表面上之最短路徑	69
表 4.5	在最短路徑之微量相鄰的路徑比較	70
表 4.6	由四種平面方程式來判斷是否共面	71
表 5.1	從點 $P_S$ 到 $P_G$ 最短路徑通過的平面	77
表 6.1	在茶壺上三種軌跡的距離	99
表 6.2	各種方法之計算次數	103



## 圖目錄

圖 1.1	最短路徑連接起點與終點經由多邊形頂點	3
圖 1.2	二連桿旋轉與障礙區架構空間之單層二維平面障礙區	4
圖 1.3	通用之 Voronoi 圖解法	5
圖 1.4	遺傳基因規劃法來產生電腦程式控制機械人	5
圖 1.5	通用及改良之 Voronoi 圖解法	6
圖 1.6	以障礙區頂點與其他頂點連線中點來求取最短路徑	8
圖 1.7	最短運動軌跡是從起點至終點連一直線	8
圖 1.8	利用網格理論在障礙上頂點以外區域均屬可通行範圍	9
圖 1.9	在二維多角形空間中之最短路徑	10
圖 1.10	以布魯霍斯搜尋法在多面體表面上兩點間之最短路徑	11
圖 1.11	以特定外形界定障礙區並擴大障礙邊界	11
圖 1.12	弧形曲面與各多面體之路徑規劃方法流程圖	14
圖 2.1	由 $10 \times 10 = 100$ 個點集合所組成的網格平面	16
圖 2.2	依序將可通行點重新編排並付予名稱	17
圖 2.3	扣除障礙特徵點後所有可通行路線	18
圖 2.4	由兩個平面和一個斜面所產生的非共面多面體	19
圖 2.5	在非共平面上所有可通行的點	20
圖 2.6	在非共平面上有效的可通行路線	21
圖 2.7	自由輪廓多面體的座標空間示意圖	22
圖 2.8	自由輪廓多面體的障礙特徵	22
圖 2.9	自由輪廓多面體中同平面部份的可通行路線	23
圖 2.10	自由輪廓多面體山丘部份的可通行路線	24
圖 2.11	自由輪廓多面體可通行路線的結合圖形	25
圖 2.12	可通行的路線與節點間之關係	26
圖 2.13	在平面上從 1 到 50 的最短避碰軌跡	28
圖 2.14	從起點 1 到目標點 225 的最短避碰軌跡	29
圖 2.15	從起點 1 到目標點 519 的最短避碰軌跡	30
圖 2.16	從起點 1 到目標點 374 的最短避碰軌跡	31
圖 2.17	合併右側障礙區後共有 280 個通行點	31
圖 2.18	從起點 1 到目標點 280 的所有避碰軌跡	32
圖 2.19	從起點 1 到目標點 280 的最短避碰軌跡	32
圖 2.20	三種(100、361、784)網格點由起點至終點之路徑比較	33
圖 2.21	在等高線上之最短路徑軌跡	34
圖 2.22	在自由輪廓多面體上之最短路徑軌跡	34

圖 3.1	三軸 PUMA 機械手之示意圖	36
圖 3.2	三軸 PUMA 機械手之工作示意圖	37
圖 3.3	從起點 P 至目標點 Q 之最短路徑即該兩點的連線	38
圖 3.4	由方盒形多面體所組成之障礙曲面	40
圖 3.5	由瓶子形多面體所組成之障礙曲面	41
圖 3.6	由兩個不同大小球形多面體所組成之障礙曲面	41
圖 3.7	經展開及疊代後之盒形障礙平面	42
圖 3.8	經切割的上半部盒形曲面	43
圖 3.9	經切割後的上半部瓶子形障礙曲面	44
圖 3.10	經切割後的上半部雙球形障礙曲面	44
圖 3.11	在疊代之障礙平面上尋找最短路徑	45
圖 3.12	由下半部點 P 至上半部點 Q 的最短路徑	47
圖 3.13	在盒形障礙曲面上由 P 點至 Q 點的路徑規劃	48
圖 3.14	交點 C 同時垂直於直線 PQ 與直線 AB	48
圖 3.15	在瓶形障礙曲面上由 B 點至 A 點的路徑規劃	49
圖 3.16	在雙球形障礙曲面上由 A 點至 F 點的路徑規劃	50
圖 4.1	轉折點 C 與 D 位於共用的邊界上	51
圖 4.2	在轉折邊界上入角度 $\theta_1$ 等於出角度 $\theta_2$	52
圖 4.3	由 $P_S$ 到 $P_G$ 的最短路徑通過 1、4 和 6 三個平面	55
圖 4.4	在圓柱分割成 18 等份由起點至終點之最短路徑	56
圖 4.5	在圓柱分割成 75 等份由起點至終點的最短路徑	56
圖 4.6	在圓柱分割成 100 等份由起點至終點的最短路徑	57
圖 4.7	在圓柱分割成 200 等份由起點至終點的最短路徑	57
圖 4.8	在圓柱分割成 360 等份由起點至終點的最短路徑	58
圖 4.9	在圓錐分割成 18 等份由起點至終點的最短路徑	59
圖 4.10	在圓錐分割成 75 等份由起點至終點的最短路徑	59
圖 4.11	在圓錐分割成 100 等份由起點至終點的最短路徑	60
圖 4.12	在圓錐分割成 200 等份由起點至終點的最短路徑	60
圖 4.13	在圓錐分割成 360 等份由起點至終點的最短路徑	61
圖 4.14	由起點 $P_S$ 通過圓柱多面體至終點 $P_G$ 之最短路徑	62
圖 4.15	由起點 $P_S$ 通過圓柱多面體至終點 $P_G$ 路徑之端視圖	63
圖 4.16	加入切平面分割成 18 等份由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	63
圖 4.17	加入切平面分割成 75 等份由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	64
圖 4.18	加入切平面分割成 100 等份由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	64
圖 4.19	加入切平面分割成 200 等份由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	65
圖 4.20	加入切平面分割成 360 等份由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	65

圖 4.21	由起點 $P_S$ 通過圓錐多面體至終點 $P_G$ 之最短路徑	66
圖 4.22	計算分割成 18 等份圓錐由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	67
圖 4.23	計算分割成 75 等份圓錐由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	67
圖 4.24	計算分割成 100 等份圓錐由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	68
圖 4.25	計算分割成 200 等份圓錐由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	68
圖 4.26	計算分割成 360 等份圓錐由 $P_S$ 至 $P_G$ 之最短路徑	69
圖 5.1	繪製最短路徑的流程圖	72
圖 5.2	機器手在三度空間的作業狀態	73
圖 5.3	經過排序之所有可能被通過的邊界組合	76
圖 5.4	編號及安排六面體上相鄰之平面	77
圖 5.5	以彼此特定的關係展開平面最短路徑通過的平面	78
圖 5.6	由 12 面體模型所發展之平面	79
圖 5.7	由 20 面體模型所發展之平面	80
圖 5.8	將編號 9 經過平移及旋轉來計算路徑	80
圖 5.9	將編號 8 經過平移及旋轉來計算路徑	81
圖 5.10	將編號 3 經過平移及旋轉來計算路徑	81
圖 5.11	在圓柱疊代平面上由起點 $P_S$ 至兩組終點 $P_G$ 之最短路徑	82
圖 5.12	在圓錐疊代平面上由起點 $P_S$ 至兩組終點 $P_G$ 之最短路徑	83
圖 5.13	由圓柱、平面、斜面及圓錐等可展開成平面之多面體	84
圖 5.14	將圓柱及圓錐分割成若干等份的平面	85
圖 5.15	將所有的平面及斜面直接貼放於疊代平面上	85
圖 5.16	在可展開成平面之多面體上由起點至終點之最短路徑	86
圖 6.1	由五個部分所構成的茶壺模型	88
圖 6.2	以較大面積的多面體來顯示茶壺的模型	88
圖 6.3	以四倍於圖 7.2 之綴面來顯示茶壺模型	89
圖 6.4	移動任一控制點僅對曲線產生局部影響	89
圖 6.5	將給定點當成控制點所獲得之曲線	90
圖 6.6	將給定點當擬合點所獲得之曲線	90
圖 6.7	NUBS 摻合函數一階至四階所產生之圖形	91
圖 6.8	不同的節值可獲得不同偏向之曲線	92
圖 6.9	不同的加權值可獲得局部變更之曲線	92
圖 6.10	不同的節值與加權值可獲得局部變更之曲線	94
圖 6.11	線段連接與曲線連接之路徑軌跡差異	94
圖 6.12	起點與目標點座落於壺嘴之相關位置	95
圖 6.13	線段連接與曲線連接之路徑軌跡差異	96
圖 6.14	通過兩個被分割成 100 等份邊界之可通行路徑	97

圖 6.15	使用邊界分割法所求得之最短路徑	97
圖 6.16	通過 15 個轉折邊界的三種路徑軌跡	98
圖 6.17	由點 $P_1$ 至點 $P_2$ 的三個路徑軌跡	99
圖 6.18	在弧形曲面上由起點至終點通過五個邊界轉折點	99
圖 6.19	線段連接與 NURBS 連接之路徑軌跡差異	100
圖 6.20	不同的起點與目標點將產生不同之邊界轉折點	101
圖 6.21	在茶壺形之弧形曲面上尋找最短路徑	102
圖 6.22	各種方法運用於多曲體之計算次數比較	103
圖 6.23	各種方法運用於弧形曲面之計算次數比較	103
圖 6.24	在二面歪斜的六面體上以最短路徑方法纏繞結果	104
圖 6.25	在二面歪斜的六面體上之實際纏繞結果	105
圖 6.26	規劃加工之局部汽車模型曲面	105
圖 6.27	刀具條件(刀具補償、精度及粗糙度)	106
圖 6.28	將路徑規劃理論應用於粗加工路徑	107
圖 6.29	將路徑規劃理論應用於不考慮補償之表面加工	107

