

## 適形越障探測車之行動規劃與機電整合

李顯宏

台灣科技大學 機械工程研究所

余志成\*

國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程研究所

NSC 91-2213-E-008-020

關鍵字：路徑規劃、無人探測車、機器人、機電整合

### 摘要

本文探討適形越障探測車 (Adaptive Configuration Explorer, 簡稱 ACE) 之系統整合技術, ACE 採用四輪獨立傳動的設計, 連接在主動式關節的輪臂上, 因而具有高度的移動與越障能力。本研究整合車體機構、機電控制模組以及路徑規劃系統, 使 ACE 能夠具有自主的行動能力, 以應用於無人環境的探勘。人機介面以 Visual Basic 與 MATLAB 寫成, 並運用網路技術進行遠端遙控, ACE 由客戶端負責整個系統規劃的動作, 包括路徑規劃、動作指令的傳送等工作, 再經由伺服端將控制任務透過無線傳輸到 ACE 上的控制晶片, 以驅動馬達產生動作。本文以動態模擬系統軟體 ADAMS 進行機構動態模擬, 作為 ACE 各種運動模式及控制流程的參考。此外, 本文提出一套路徑規劃策略 (Modified Tangent Bug, MTB), 結合 ACE 模組化與參數化的控制方式, 透過人機介面所產生的動作指令, 自動產生路徑規劃與控制指令, 以驅動 ACE 行進至指定的目的地。最後吾人藉由機電整合實作, 驗證系統整合之可行性, 並提出未來研究的建議。

### 前言

『適應地形探測載具』 (Adaptive Terrain Vehicle, 簡稱 ATV) 泛指能夠適應各種崎嶇地形的車輛, 它能夠有效的感應到環境中地形之變化, 進而調整車身結構來適應地形, 再透過障礙物位置的環境訊息, 越過或避開不可穿越的障礙物, 以到達指定的目標。因此 ATV 可應用在非人為道路 (Off-road) 上, 依其可改變車身結構以適應高低路面之優勢, 即能於崎嶇的地形上行進。搭配遠端監控系統, 即可使 ATV 成為一多用途之探測車, 能夠勝任危險或無人環境下的探勘。當 ATV 獲得車體周遭的幾何地形與障礙物特性等環境資訊後, 配合行動智慧的路徑規劃, 透過遠端監控技術將控制資訊傳至 ATV 伺服端產生作動, 使 ATV 依循所特定設計之模式行

走, 因此使用者就可以輕易的經由遠端了解 ATV 目前所處的現場狀況, 可廣泛的應用在各種無人場合中, 如具毒性或污染性環境的勘查與清除等特殊任務。

本文介紹一種新型的適應地形探測載具 (Adaptive Configuration Explorer, ACE) [5], ACE 採用四輪獨立傳動的設計, 並連接在主動式關節的輪臂上, 因此具有高度的移動與越障能力。本研究將以 ACE 為載具, 應用自動化技術, 將以往需由使用者自行控制機器人動作與行進路線的一些重複繁瑣之動作, 以參數化的控制指令與行動智慧來取代, 使用者只需指定目的地, ACE 便會自行規劃路徑, 完成所希望的動作, 使 ACE 能應用於無人環境勘查。文中將介紹不同系統的整合技術, 如機構設計、電機控制、動態模擬、介面設計、人工智慧等, 以發展出一套無人探測車的系統架構。

### 文獻回顧

#### 車體設計

適應地形探測載具的設計主要可以行動方式來分類, 除了常見的以車輪或履帶式帶動外, 還有模仿動物、昆蟲以『腳』來移動的方式。以「足」為移動機構的步行機器人, 常見有六足機器人[1]、四足機器人、雙足機器人[2]等。整體來說, 步行機器人能夠不受地形的限制, 但機構自由度大, 相對的它的結構就會比較複雜、笨重, 因此更需要有強大而穩定的控制系統輔助動態平衡。至於輪行與履帶式則有速度快的優勢, 其中履帶式特點為易於越過障礙及壕溝, 但轉向阻力大、轉向平穩性較差、靈活性較車輪式差。而車輪式通常只適用於平坦的路面, 並且機動性高、可有較大的巡行里程, 但在跨越障礙方

\* 聯絡作者: jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

面就必須依靠機構上的設計，增加自由度達到障礙穿越的目的。

圖 1 為 NASA 機器人的結構，這種機器人結構設計簡單，採單一車體的設計，質量重心固定，電控線路、傳動機構都相對的較為簡單，但在移動、跨越障礙方面就得靠車身到輪子的懸吊系統方面著手，藉由結構的設計來增加自由度、提高跨越障礙的能力。圖 2 雙節式車輛，設計上相鄰兩車體間是用一個 3 個自由度的關節連接，可藉由此關節移動車體來跨越障礙，其移動能力可大幅提昇，但其電控線路與傳動機構設計相對的也較為複雜。



圖 1 Rocky 機器人[4]

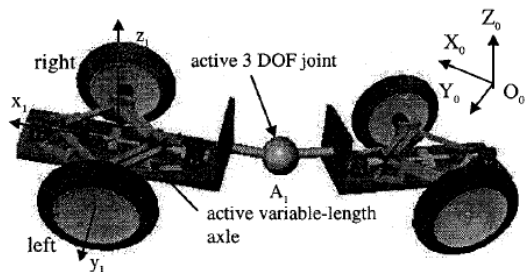


圖 2 雙節式車輛

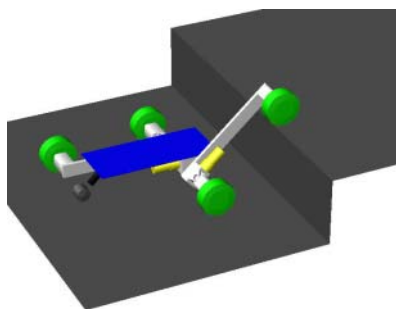


圖 3 適形越障探測車跨越如高台

適形越障探測車(ACE)則結合單一車體與主動式輪臂的設計，ACE 不僅具有靈活的移動能力，可前進後退、圓弧轉向、原地轉向等，更可藉由主動式關節轉動輪臂則可跨越如高台與壕

溝的障礙(如圖 3)，大幅增加探測車的移動彈性[5]。

### 路徑規劃

由於探測車常應用於無人環境的探勘，因此需要配合路徑規劃來決定前往目的地的路線。在環境已知的情形下，可以切割法把安全空間(free space)，以不同大小的細格切割如圖 4(a)所示[7]，黑色格子為不可穿越之障礙物空間，用切割出來的格子距離終點的格數以數字表示，如圖 4(b)所示，由起點開始搜尋下一個數字較小的格點中央前進，直到找到終點為止如圖 4(c)所示。而格子的數值大小是決定結果的關鍵，當格點太大則無法表示真正的障礙物外形，也不易規劃出最佳的路徑，但若格點太小，則會有計算複雜的缺點，但由於此種方法執行上較為簡單，因此如果以此為原則並改良演算法不失為一個可行的方法。

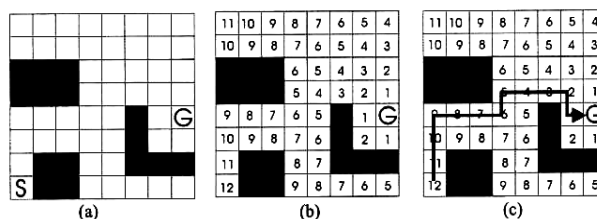


圖 4 細胞切割法 I

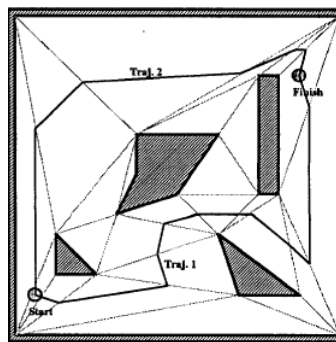


圖 5 細胞切割法 II

另一種細胞切割法如圖 5 所示，此種作法是適用於多邊形的障礙物環境，首先找出環境中所有障礙物與邊界的頂點，再將各頂點相連形成三角網格，依序由起點沿著每個三角晶格邊上的中點，搜尋出到達終點的各條可行路徑(圖 5)，最後選出最短路徑，當實體控制有良好的方案時，可以進一步使用 B-Spline 予以路徑的平滑化[8]。此種作法所得的路徑會跟障礙物保持一定

距離，因此不須要沿著障礙物邊緣繞行，但相對的繞行路徑可能會比較長。

切線蟲(Tangent Bug)演算法[9][3]是一種運用在有限範圍的感測器進行路徑搜尋的演算法，藉由局部的切線圖形(Local Tangent Graph, LTG)，其主要是由兩種運動模式所組成：(1)朝著目標前進的直線行進模式；(2)遇到障礙物時所做的沿著障礙物邊緣行走的行進模式。如圖 6-a 中的 LTG 其前進的路徑沒有被阻擋到，便朝著目標成一直線的前進，然後再以  $X_1$  為中心建立新的 LTG，若 LTG 中的前進路線位於障礙物扇形區域，則依障礙形區的邊緣，前進至障礙物邊緣  $X_2$ ，如圖 6-c，然後再採沿著障礙物邊緣走的第二前進模式前進至  $X_3$ ，建立下一個 LTG，依序採用前兩種前進模式，直到達到目標為止。

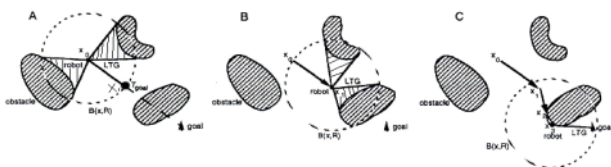


圖 6 Tangent Bug 法則

另一種楔形蟲(Wedge Bug)[3]所採用的移動模式與 Tangent Bug 類似。但是 Wedge Bug 利用視野中心到目標的方向之楔形掃瞄區域，來代替 Tangent Bug 的圓形全方位掃瞄，在楔形掃瞄區行進時若有遇到障礙物才會增加掃瞄範圍，如此即可減少不必要的環境掃瞄時間。Tangent Bug 與 Wedge Bug 都採用沿著障礙物邊緣行走為其避障模式，實際上要探測車沿著不規則障礙物邊緣行走是非常困難的，因為其路徑多為不規則形狀，要控制車輛使其能即時沿著複雜路徑行走，所須要的控制成本是非常高的。

現有文獻中的路徑規劃並未考慮具有跨越障礙功能的探測車，如何結合避障與越障的路線設計。而另一方面對於整合路徑規劃與探測車的運動控制模式的探討也不足。因此本論文將以 ACE 為載具，提出一套完整的行動規劃策略，整合機電設計與控制模組，使 ACE 具有於已知障礙環境自主移動的能力。

### 適形越障探測車的結構

越障探測車可應用於危險或無人環境下的探勘，如工廠與實驗室，但由於工廠中包含許多

類型的障礙物，如：水管、貨物、機器等，故設計上需考量各式障礙閃避和跨越部分障礙所需的機構自由度。適形越障探測車(Adaptive Configuration Explorer, ACE)便是基於以上需求所設計。圖 7 為 ACE 的結構組合圖，共有八顆馬達，四輪獨立馬達傳動，兩個馬達控制前輪關節，兩個馬達控制輪臂。中間主車體部分用於置放控制模組，兩邊的輪臂可用來攀越障礙，前輪關節可作為轉向的機構，而尾輪是在跨越障礙輪臂舉起時所用以支撐車體的功用。一般行走時可以當成單一車體結構轉向與前進，當遇到高台或壕溝等障礙時，則可以多節車體的方式，利用較高的自由度來跨越障礙。

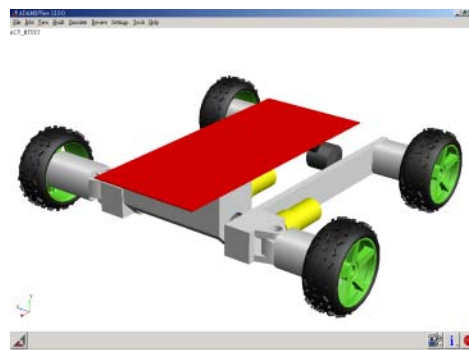


圖 7 ACE 結構組合圖

### 運動模態分析

本文採動態機構分析系統 ADAMS 進行 ACE 運動方式的配模擬與分析，透過 ADAMS 模擬驗證各個運動模組的邏輯順序與馬達控制時序。由於 ACE 能夠調整車身結構來閃避和跨越障礙，因此除了可以執行直行、轉彎動作外，若遇到壕溝或階梯時，ACE 仍然可以在可行性與不會翻覆的前提下跨越障礙行進。本文將 ACE 的運動規劃成為九個參數化的行動指令：前行(FWM)、後退(BWM)、上高台(USTP)、下高台(DSTP)、跨壕溝(CRG)、右弧轉(RTN)、左弧轉(LTN)、原地左轉(LSPIN)、原地右轉(RSPIN)等。以下針對轉向及跨越障礙的模式說明控制參數間的幾何關係。

### 轉向模式

ACE 的轉彎動作由前輪臂配合各輪轉速控制來達成，ACE 分為兩種轉彎方式：第一種方式為原地轉向，如圖 8 所示，首先將兩前輪轉向機構轉至定位，使兩輪延長線與尾輪交於一

點，並以左右兩邊輪子旋轉相反軸向達到轉向需求，此時的迴轉半徑最小值  $r_{min}$  為 OA。第二種轉向方式是以一特定圓弧半徑轉彎，它是模仿阿克曼原理控制前輪臂的角度，如圖 9 所示，首先將兩前輪轉向機構轉至特定的角度，使四個輪子的中心線交於共同點，使 ACE 能夠繞一特定的迴轉半徑，來作轉向運動。

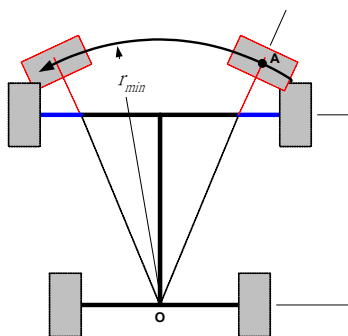


圖 8 ACE 原地轉向原理

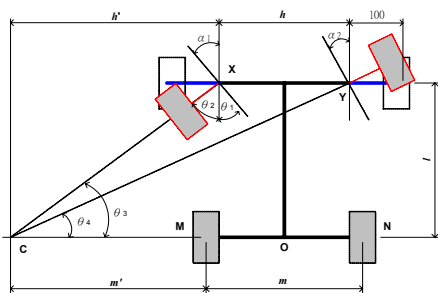


圖 9 ACE Ackerman 轉向原理

### 跨越高台與壕溝

對於高低起伏已超過輪子直徑的高台障礙或大於輪徑的縫隙，ACE 會利用車身結構以兩個主動的輪臂關節而”跨越”上障礙高台或壕溝，圖 10 為以 ADAMS 模擬 ACE 上高台的動作流程。由跨越某已知高度的高台，可計算出輪臂旋轉機構運動所需的旋轉角度關係，以及障礙物與車輛之間的距離可用來控制馬達控制時序與路徑規劃的參數。對於跨越壕溝障礙，其動作流程與跨越高台相仿。

### Modified Tangent Bug 的路徑規劃流程

本研究修改 Kamon 所提出的 Tangent Bug 演算法[9]，配合 ACE 的運動模態簡化路徑型態，並加上穿越高台與壕溝障礙的行進策略，發展出一套路徑規劃策略為 Modified Tangent Bug (MTB)[6]，圖 11 為 MTB 的路徑規劃流程。MTB

主要是應用於一個已知的環境中，使 ACE 能夠配合機電的運動控制模態，選擇一條可行的路徑，避開或跨越障礙物以到達目的地。於此我們採用路徑的長短來當作目標函數，由於 MTB 是採取直線與圓弧繞行兩種運動模式的組合，因此在閃避障礙物上的控制成本會比較低，同時又能夠以較短的路徑到達指定目標。

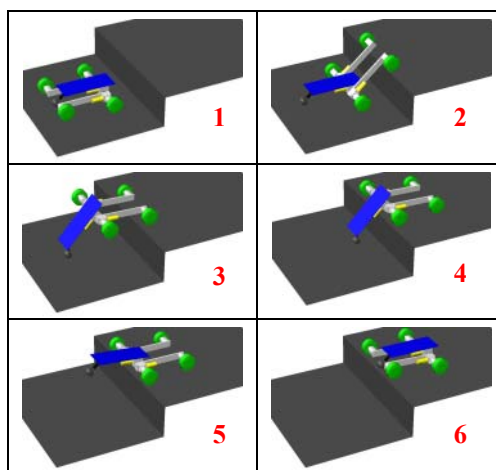


圖 10 ACE 跨越壕溝模擬圖示

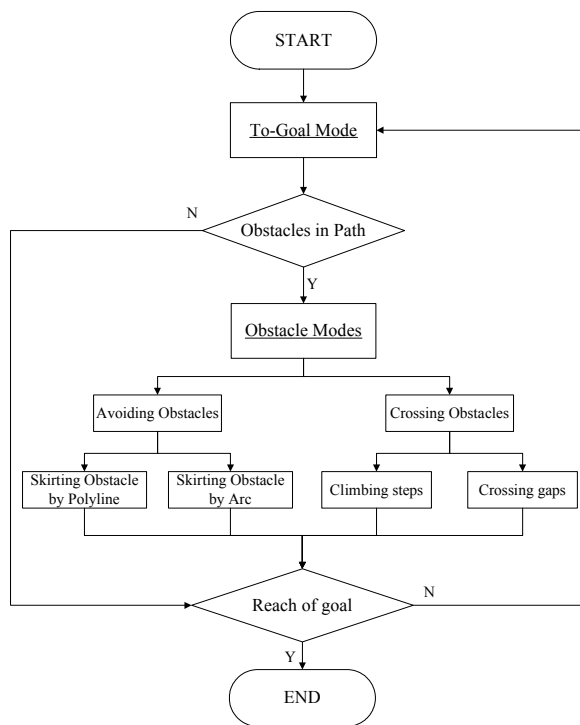
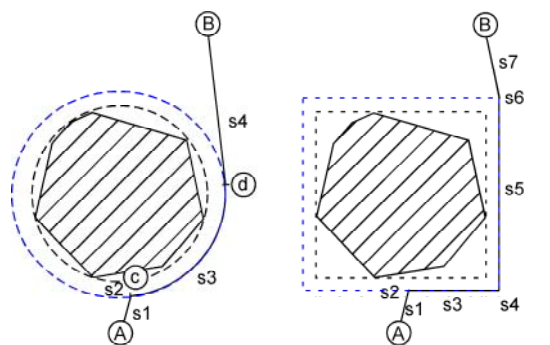


圖 11 Modified Tangent Bug 路徑規劃流程

### 全域障礙物的簡化與分類

首先依障礙物特徵區分為可穿越與不可穿越兩種類型，對於不可穿越的障礙物如高度過高之障礙物，其幾何形狀先簡化成多邊形與圓形兩類。可穿越的障礙物，如階梯或壕溝，則簡化為彎折之聚合線，藉以簡化探測車的控制方式。當多邊形的邊數太多或是邊長小於 ACE 的原地轉向半徑時，則可考慮簡化為外接圓形，或是邊數較少的外接多邊形，如圖 12，以減少 ACE 行進間不必要的轉彎次數。簡化完畢後，為避免探測車在行進與轉彎中碰撞到障礙物，因此將障礙物由簡化邊界向外擴張一特定之安全距離，作為探測車繞行障礙物的軌跡，安全距離以探測車原地迴轉之最小半徑  $r_{min}$  為準，如圖 12。



(a) 圓形簡化障礙輪廓 (b) 多邊形簡化障礙輪廓

圖 12 障礙物簡化與繞行

### 分解障礙物

對於每一個指定目的地，每一個障礙物可將環境空間分割成「有效障礙區(Active Blocking Zone)」與「無效障礙區(Free Zone)」，作法是由目標點到每一個障礙物取外切線，如圖 13 所示，當探測車位於陰影區時，由目前位置連線到目標點將穿過障礙物 K，此扇狀陰影區稱為障礙物 K 的「有效障礙區」，而若探測車位於陰影區以外的位置，則可直線往目標前進，而不會受到障礙物 K 的限制，因此稱為「無效障礙區」。障礙物位於「有效障礙區」的輪廓邊界稱為「限制邊界(Blocking Boundary)」，如圖 13 中障礙物 K 的實線邊界部分，而虛線邊界部分為「自由邊界(Free Boundary)」。由目標到障礙邊界的切點，稱為「限制邊界點(Blocking Boundary Points)」，如圖 13 中的切點 a 與 b，當目的地決定後，限制邊界點也因而決定。當 ACE 位於「限制邊界」時，必須沿著障礙物邊界繞行至「限

制邊界點」，此時目標才不會被障礙物 K 所遮蔽，之後便可以直線前進的方式往目的地行進。而當車子位於障礙物 K 的自由邊界時，該障礙物並不會成為直線前進至目的的阻礙，如此分解方式可減少未來路進規劃時判斷的時間。

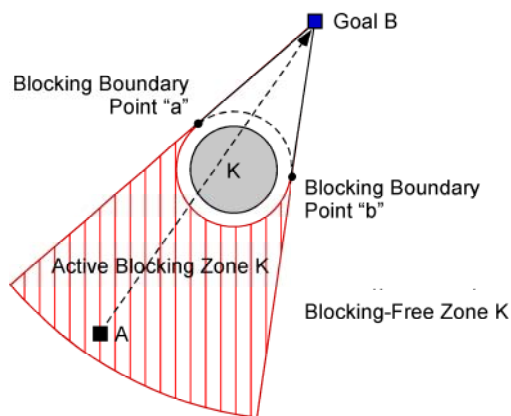


圖 13 分解障礙物

### 避障模式

ACE 一開始會採用朝著目標前進的運動模式，如圖 11 路徑規劃流程中的 To-Goal Mode，一直到遇見障礙物(Obstacles in Path)，則依據障礙物類型而改變運動模式，對於壕溝或階梯兩類可穿越型的障礙物，ACE 會自動調整車身結構直接垂直跨越障礙物；而對於圓形或多邊形等不可穿越障礙物時，ACE 則藉由沿著障礙物邊緣行走模式來繞行障礙，直到(1)ACE 到達終點，或(2)ACE 到達障礙物的限制邊界點。若已到達終點則 ACE 動作停止；若 ACE 已到達障礙物限制邊界點，ACE 會再作朝著目標前進的直線運動，直到遇到新的障礙物再作判斷規劃出新的路徑。如圖 12-(a)，一開始 ACE 由起點執行朝著目標前進的運動模式，直到遇見障礙物邊界 c 點，由於該障礙物為不可穿越型且 A 點位於障礙物的有效障礙區，因此必須沿著障礙物邊緣繞行，圖 12-(a)中 ACE 採取圓弧繞行直到障礙物的限制邊界點 d，表示此障礙物已成功繞過該障礙物，因此即可切換為朝著目標前進的運動模式，若 ACE 行進間一直沒有遇見障礙物，則 ACE 會一直採用直線運動模式直到目標 B。

### 障礙繞行方向的判定

當 ACE 以直線前進遇到障礙物時，如圖 14，由於每一個障礙物邊界已區分為「自由邊界」與「限制邊界」，因此當 ACE 位於限制邊界(實

線部分)時,就必須採取障礙物繞行的方式,此時必須進行方向之判斷。我們以 ACE 的目前位置到目標方向與障礙物邊界之交點位置,區分為向左與向右到達限制邊界點的兩個方向,以兩段距離的長短來判斷  $W(L)$ 、 $W(R)$ ,也就是比較  $S2' \sim S6'$  與  $S2 \sim S4$  兩繞行距離中何者為小,ACE 便選擇延著該方向進行沿繞障礙物的邊緣。但除了距離之外,還有兩個因素影響方向的選擇:(1)轉彎的次數;(2)所選取的方向後方是否有障礙物。若轉彎次數過多或該限制邊界點到目標之間存在的障礙物比較多時,則應考慮由另一個方向繞行。對於每一個繞行的障礙都會有兩個選擇方向,最後在各種可行路徑中,依目標函數選擇一條最佳路徑。

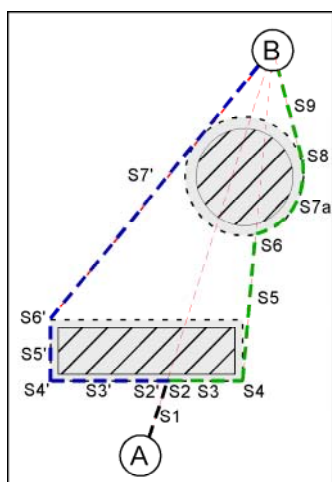


圖 14 障礙繞行方向

### 路徑的簡化

當 ACE 依據 MTB 避障策略到達終點後,即為一條初始的可行路徑,由於此路徑不見得是最佳的路徑,也可能在實務上難以達成,因此可將此路徑再進行修正的動作,進一步簡化 ACE 動作與行進時間。由圖 15 經過 MTB 所產生的路徑 L1(即 a, b, c, d, e, f, g),不難發現有許多不必要的轉折點,將造成行進時間與控制成本不必要的增加,因此可將所規劃路徑中不必要的轉向刪除。首先將路徑中任意相鄰的三個轉折點圈選出來如圖 15 中的(a, b, c)三點,由第一點直接與第三點連線,產生新的路徑(a, c),若新路段並未穿越任何障礙,則可用以取代原有的(a, b, c)路徑。若所修正之路徑會穿過障礙物時,則該路徑維持原路徑。如此反覆簡化路徑直到該路徑無法再做

任何簡化為止,如圖 15 中的 L2(a, c, e, f, g)即為修正路徑。

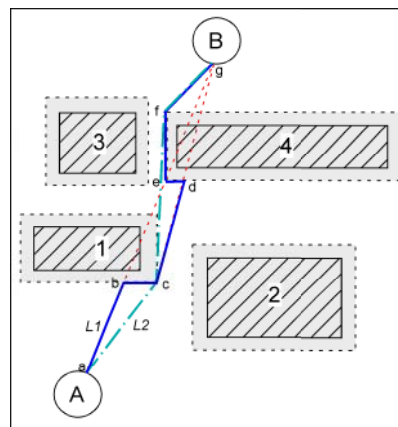


圖 15 Modified Tangent Bug 路徑的簡化

現階段的 MTB 避障策略是為了配合 ACE 實體控制上的流暢性,因此採用路徑的長短當做目標函數,嘗試找尋最短路徑,但此路徑未必是花費時間最短的路徑,若 ACE 硬體規劃上能夠採取更佳的控制方案,即可以行走時間的長短來當做準則,使整個 ACE 的控制流程能夠更為簡化,達到最佳化之目的。

表 1 路徑命令檔

Motion Mode	Commands
S1'	SPIN(原地轉向), FWM(前進)
S3	SPIN(原地轉向), FWM(前進)
S4	SPIN(原地轉向), LTN(Ackerman左轉)
S5	FWM(前進)
S6	SPIN(原地轉向), USTP(上階梯)
S7	SPIN(原地轉向), FWM(前進)
S8	SPIN(原地轉向), COG(跨越壕溝)
S9	SPIN(原地轉向), FWM(前進)

### 路徑規劃範例

圖 16 中 S1'~S9 為依據 MTB 所產生的路徑,由於先前我們將 ACE 所有動作以模組化的方式呈現,因此只要輸入相對應的指令就可以驅動 ACE 產生動作,如表 1 所示。以 S1 為例,開始會先執行原地轉向至目標方向,再使用朝著目標前進的運動模式,直到遇見障礙物則必須依據障礙類型來避障,即圖中的 S2 採用直線繞行,由於向右的策略為較好的策略,因此必須先將 ACE 原地轉至限制邊界點方向,再執行 ACE 直走,直到限制邊界點,即完成第一個障礙物的繞行。如此反覆的操作兩個運動模式,直到 ACE 到達目標。比較特別的是 S6 遇到可穿越型的障

礙物，為節省跨距，因此採取垂直跨越的方式。而 S1 與 S2 可合併為 S1' 而不會遇到其他障礙。

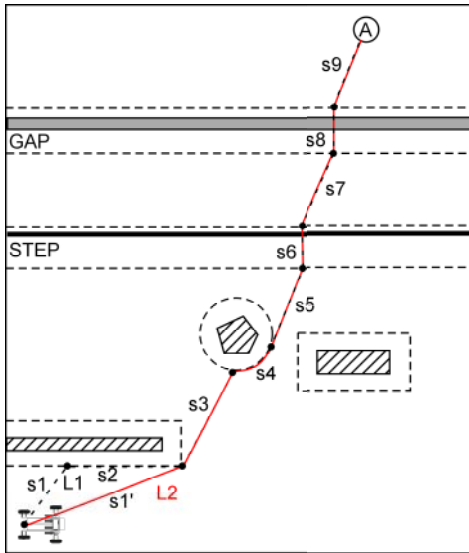


圖 16 MTB 範例

探測車人機介面

ACE 人機介面可區分為硬體主控介面與路徑規劃介面，路徑規劃介面以 MATLAB 完成 MTB 避障方式。可藉由介面任意輸入障礙位置與幾何形狀，再自行指定起點與目的地，便可自動規劃出一條起點到達終點的可行路徑，並產生驅動硬體的指令檔案，結合 Visual Basic 程式，使 ACE 以模組化的方式做出相對應之動作，使 ACE 能夠自動的巡航於已知環境中。而透過即時影像系統，可了解 ACE 目前的環境狀態，達到遠端監控的效果。

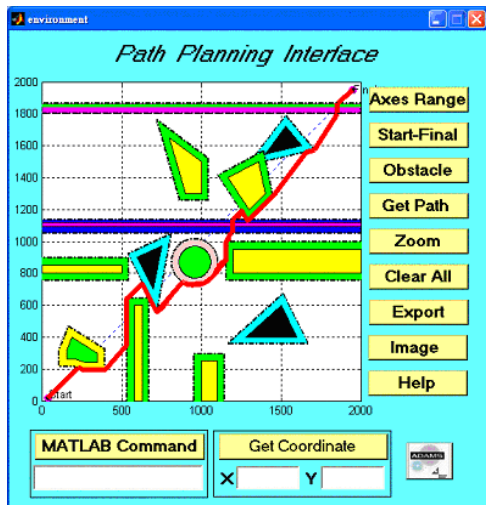


圖 17 MATLAB 路徑規劃介面

ACE 機電系統規劃

在客戶端藉由人機介面規劃出一條 ACE 最佳的運動路徑後，將此運動模態轉換為馬達控制之動作命令，整個路徑規劃將轉換成參數化的動作指令列。透過 TCP/IP 將動作命令由客戶端傳至伺服端，當伺服端接收此動作命令後，藉由並列通訊輸出相對應之動作數位值，由於伺服端上連接兩組無線通訊模組，個別掌管 ACE 的動作與速度控制，因此並列通訊指令傳輸方式以前四位元為動作指令，後四位元為速度指令。再透過無線傳輸模組編碼後將這些數位值一同傳到 ACE 之 PIC。ACE 機電系統利用 PIC16F877 做為整個系統的控制核心，每顆 PIC 都包含了驅動馬達動作與速度控制程序。在經過指令解碼後，PIC 會送出相對應的數位訊號去驅動繼電器，進而使馬達產生動作。最後再由 PIC 回授位置修正動作之誤差，整個 ACE 機電系統架構示意圖如圖 18。圖 19 為本文軟體與硬體整合架構，最後經由一連串的實驗測試，來驗證 ACE 行進時能否與路徑規劃推論所得結果相符合。

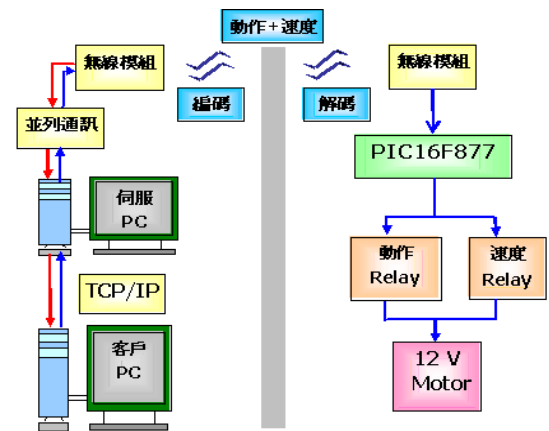


圖 18 ACE 機電系統規劃

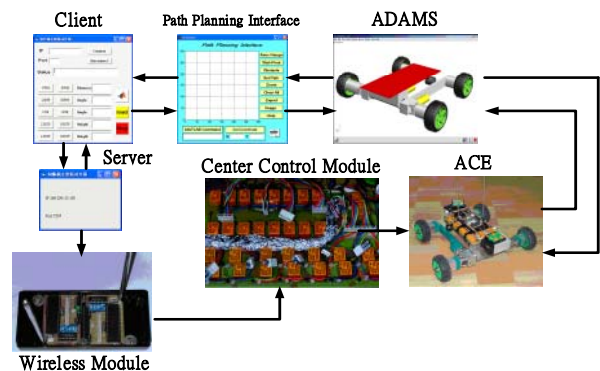


圖 19 控制模組整合

### 結論

本文介紹越障探測車的系統整合技術，包含路徑規劃與機電系統的架設，將探測車的運動方式模組化，並結合所提出一套路徑規劃策略，成功的整合機構運動控制與行動智慧。在一已知環境中，探測車能自行規劃路徑避障與越障，前進至任意指定位置，達到遠端監控的目的。現有的原型設計受限於製作經費，在車輪與路面滑動的偵測、機構齒隙、以及無線電波干擾方面上有需多改善的空間。而現有開迴路的設計，未來也可以伺服馬達配合視覺定位系統，藉以感知並修正行進路徑誤差，使整個系統能更加完備，以期應用在實際的環境監控。

### 致謝

本研究承蒙國科會支持，計劃編號 NSC 91-2213-E-008-020，特誌謝意。

### 參考文獻

- [1]. Weidemann, H. J., Pfeiffer, F. and Eltze, J. "The Six-Legged TUM Walking Robot", *Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol.2, pp.1026~1033. (1994)
- [2]. Peter Menzel, Faith D'Aluisio, *Robo Sapiens: Evolution of a New Species*, New York (2002)
- [3]. Laubach, S. L., Burdick, J., and Matthies, L., "An Autonomous Path Planner Implemented on the Rocky 7 Prototype", *IEEE International Conference on robotics & Automation*, May, pp. 292-297 (1998)
- [4]. Volpe, R., Balaram, J., Ohm, T., and Ivlev, R., "Rock 7: a next generation rover prototype", *Advanced Robotics*, Vol. 11, No. 4, pp. 341-358. (1997)
- [5]. 李志強，「可變形越障探測車之設計與動態模擬」，碩士論文，國立台灣科技大學機械工程系(2000)。
- [6]. Yu, J., Liao, W.C., Li, M.Y., and Li, H.H., "Design and Motion Simulation of the Autonomous Exploration Vehicle", *Proceedings of the 7<sup>th</sup> international Conference on Automation Technology*, 9/12~9/14, Chia-Yi, Taiwan. (2003)
- [7]. Latombe, J.C., *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Publishers, (1991)
- [8]. Cunha, S. R., de Matos, A. C., and Pereira, F. L., "An Automatic Path Planning System for Autonomous Robotic Vehicles", *Proc. IEEE Int. Conf. On Robotics & Automation*, pp.1442-1447. (1993)
- [9]. Kamon, I., Rimon, E., and Rivlin, E., "A New Range-Sensor Based Globally Convergent Navigation Algorithm for Mobile Robots", *Proc. 1996 IEEE Conf. Robotics Automat*, (1996)

## Motion Planning and Mechatronics of Adaptive-Terrain-Vehicle

**Hsien-Hung Li**

*Department of Mechanical Engineering  
National Taiwan University of Science and Technology  
Taipei, Taiwan 106, R.O.C.*

**Jyh-Cheng Yu**

*Mechanical and Automation Engineering  
National Kaohsiung First University of Science and  
Technology, Kaohsiung, Taiwan 811, R.O.C.*

### ABSTRACT

This paper introduces the system integration technology of the Adaptive Configuration Explorer (ACE), including the kinematics, the mechatronics, and the path planning module. ACE is a four-wheel explorer with high local mobility and obstacle crossing ability due to the design of four independent drives and the active rocking arms. The goal of the study is to provide ACE the autonomous maneuver capability in a known environment, to demonstrate the application for unmanned explorations. The interface is implemented using Visual Basic and MATLAB. Internet technology is applied for the remote control of ACE. The client computer is in charge of the path planning and the generation of motion commands passing to the explorer server via TCP/IP. The server transmits the controlling signals through a wireless module to the ACE's single chip computer for the motion control. This study also uses the dynamic kinematics simulation system, ADAMS to apprehend the motion parameters of ACE. The locomotion of ACE is controlled by the parameterized motion commands to simplify the control scheme. A prototype path planner, the Modified Tangent Bug (MTB) Algorithm, is proposed and implemented to the vehicle navigation. MTB automatically generates a feasible path to a designated goal for ACE to avoid blocking obstacles and to stride over passable obstacles in a given environment. The generated path is then decomposed into a sequence of motion commands to control the vehicle. At last, a prototype ACE is constructed to verify the proposed integration scheme.

Keyword : Path Planning , Autonomous explorer, Robot Design, Mechatronic