

新型態即時戰略遊戲之智慧型角色動畫產生機制

An Animation Generation Mechanism for Intelligent Characters in Novel Real-Time Strategic Games

黃郁庭

國立政治大學 資訊科學系
台北市文山區指南路二段 64 號
TEL : (02)29393091 ext 62266
E-mail :101703038@nccu.edu.tw

李蔡彥

國立政治大學 資訊科學系
台北市文山區指南路二段 64 號
TEL : (02)29393091 ext 62266
E-mail : li@nccu.edu.tw

摘要

為了使玩家在即時戰略遊戲(Real-Time Strategy Game)中能擁有更好的遊戲體驗,本研究計畫希望藉由讓非玩家角色(Non-Player Character, NPC)發展出更聰明或更生動的能力與玩家互動,以達到設計創新型態娛樂的目的。在此遊戲中,玩家需在有限的時間內藉由改變環境(例如即時放置障礙物)影響 NPC 前往目的地的行進路線。我們設計了一種能讓 NPC 即時偵測環境的改變並尋找適合路徑的運動規劃演算法。聰明的 NPC 可以利用其運動規劃的能力及玩家所放置的障礙物,以最快的速度到達目的地。由於玩家可擺放的障礙物個數有上限,而 NPC 的行走速度也會越來越快,遊戲對玩家的挑戰性及趣味性亦會隨時間而增加。我們設計了一個實驗,請使用者進行試用,以評估所實做出的遊戲是否達到設計目標。

Categories and Subject Descriptors

• Computing methodologies, Artificial intelligence, Computing methodologies, Computer graphics

Keywords

Real-time Strategy Game; Motion Planning; Intelligent Characters; Computer Animation.

1. 簡介

近年來在即時戰略遊戲的發展上,為了使玩家在遊戲過程中感受到任務的挑戰性,遊戲設計者嘗試將多種會影響到策畫戰略的因素設計成遊戲元素,例如:建造炮塔、兵力補給等。然而因為非玩家角色(NPC)找尋路徑的能力有限(尤其是在允許動態改變遊戲場景的情況下),所以至今仍較少有允許在遊戲進行中遊戲場景能被改變的設計。本研究認為若能改善 NPC 的運動規劃能力,則動態改變遊戲場景將可視為遊戲的設計元素之一,如此一來玩家便能體驗到更豐富多元的遊戲樂趣。例如:假設遊戲的設計允許玩家在遊戲進行中隨意放置障礙物至場景中,當玩家企圖阻擋 NPC 前進而擺放障礙物至 NPC 即將經過的路線上,若 NPC 沒有能力辨識此障礙物是否能克服以及應該採取什麼樣的特殊動作以克服障礙物,則 NPC 一遇到障礙物便只能重新規劃路線以繞過它。但是若 NPC 知道自己能以跳躍的方式克服此障礙物,則 NPC 不一定會繞過此障礙物。如果他發現利用此障礙物可以縮短它與目的地之間的距離而能更有效率的完成任務,NPC 便會跳上障礙物繼續向目標邁進。因此,若 NPC 能以更聰明的方式與玩家互動,則玩家

在感受到遊戲難度及刺激感提升的同時,也能從中獲得更大的樂趣。

因此為了讓 NPC 的路徑能在動態環境中保持合理性,本研究設計了一種運動規劃演算法,讓 NPC 模擬真實人類在行進中遇到障礙物時,會嘗試克服障礙物的自然行為(例如:踩上或跳上障礙物),而非只能單調地繞過此障礙物。然而,為了降低運算複雜度,我們將運動規劃劃分成兩種層次分別做設計:全域性運動規劃(Global Motion Planning)與區域性路徑規劃(Local Motion Planning)。全域性運動規劃會先計算出一條合理可行的路徑,交由 NPC 透過反覆地區域性運動規劃產生移動的動作(locomotion)來實現此路徑上的運動。若在 NPC 拜訪的途中環境發生改變,區域性運動規劃有可能無法計算出可行的動作讓 NPC 繼續前進,則系統接收到此訊息後將會重新啟動全域性路徑規劃,重新計算出另一條合理的路徑。此種反覆的規劃機制模擬真實人類自然而反覆地嘗試行為,可達成即時而有效的運動規劃,並達到提升遊戲樂趣的目的。

2. 相關研究

全域性運動規劃的設計是先透過一個 Navigation Function 1 (NF1) 的方法建立位能場(Artificial Potential Field) [6],再以 Best-First Planning (BFP) Algorithm 計算出角色的路徑。過去的研究曾提出在較複雜的 3D 環境中,如何計算一個能讓角色在多個不同高度的平面平穩地行走的演算法[1][2]。

在區域性運動規劃中,過去的研究曾提出角色運動系統(Character Locomotion System)[3],藉由給定的方向與速度,產生相對應的角色動作(locomotion)。其特色也包含了角色的足部動作能生動自然地適應、貼合各種不同高度的地形,以及上半身也會擬人般地依據速度與下半身的動作的不同呈現出精細的姿勢變化。

如圖 1 所示,[1],[2]與[4]提出反覆的運動規劃設計概念將區域性運動規劃與全域性運動規劃做結合,藉由將區域性運動規劃的結果回饋給全域性運動規劃以做調整。此機制的特色在於能即時地在遊戲中有效率地計算路徑與角色動作。[5]介紹了玩家如何即時地控制角色的移動並將結果回饋到玩家的演算法設計。

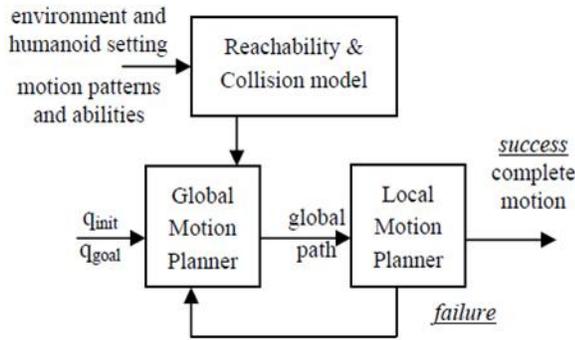


圖 1. 運動規劃迴圈設計[1]

3. 運動規劃

如圖 1 所示，本研究以 NPC 的起始組態 (initial configuration)、終點組態 (goal configuration)、機構描述 (kinematics description)，以及環境中的物件的幾何描述 (geometric description) 做為全域運動規劃演算法的輸入資料。當全域性運動規劃計算出路徑後，此路徑將交由區域性運動規劃演算法計算出連續的動作，以供 NPC 將該路徑實現。若區域性運動規劃計算失敗，則此結果將會回饋給全域性運動規劃，使其重新計算新的路徑。在此節中，我們將依序介紹本研究所使用的環境模型、角色模型、以及運動規劃演算法。

3.1 環境模型

我們假設本研究的工作空間 (workspace) 是類似圖 2 中的 3D 場景。我們將此場景切割成多個長方體物件，並個別紀錄其在 3D 場景中的組態，包括位置、旋轉角度及幾何描述 (包括長寬高)，而工作空間另以二維的細格 (2D grid) 表示，每一格 (cell) 記錄著這些物件與基準面 (referenced ground) 的距離。因為本研究假設這些物件中的下方並非 NPC 的活動區，所以藉由這些數據轉化後，此 3D 場景可以被簡化轉換成一個帶有數值的 2.5D 平面。

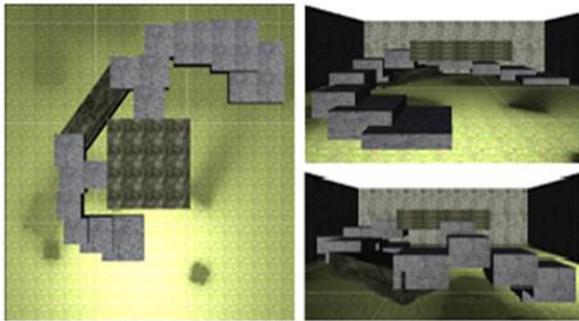


圖 2. 3D 場景範例

3.2 角色模型

在運動規劃裡，我們較在意的是 NPC 的運動機構學參數，包括其最大步伐距離、最大腳步高度 (即在 NPC 走路或跑步時，它的腿能被抬起的最大高度) 與跳躍高度。為了降低計算複雜度，在全域規劃時我們將 NPC 簡化成一個圓柱體，如圖 3 所示。本研究不考慮 NPC 側身移動的能力，NPC 在本研究中採取任何動作時身體都是面對其正前方，所以圓柱體的直徑為 NPC 的身體最大寬度。此外因為場景中的物件下方不允許 NPC 通過，所以在計算時也不需考慮圓柱體的高度。

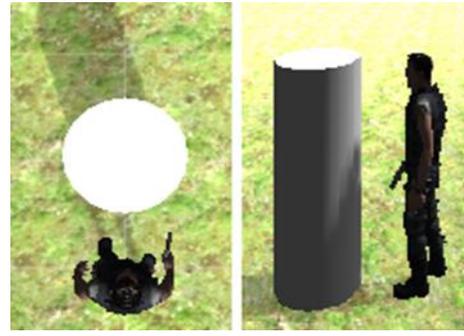


圖 3. NPC 的圓柱體模型

3.3 全域性運動規劃

本研究使用 NF1 演算法 [6] 建立位能場，相較於典型的運動規劃演算法，我們對 NF1 演算法中的散播 (propagation) 位能值的階段稍作修改，以突顯 NPC 在行走與跳躍時所需的時間有所不同。在散播位能值的程序中，假設此時 A0 cell 要向四周散播位能值，若與其相鄰之 A1 cell 的高度 (即前述中 A1 之位置所對應到的障礙物高度加上 workspace 所記錄的高度) 與 A0 的高度差距小於 NPC 之最大腳步高度，則 A1 的位能值應為 A0 的位能值加上一單位的位能值。本研究在這裡忽略 NPC 走在平地上或踩 (爬) 上階梯所需的時間可能不同；然而若 A0 與 A1 之高度差介於 NPC 之最大腳步高度與跳躍高度之間，則 A1 的位能值應為 A0 的位能值加上 X 單位的位能值 (X 需大於 1)，因為 NPC 跳上物件的時間明顯大於其踩上物件的時間，所以需要較大之成本傳播 (本研究為了簡化計算，計算路徑的成本只考慮時間)。

本研究將 [1] 中規畫角色路徑的 STABLE BFP 演算法改成 MODIFIED BFP algorithm，如圖 4 所示。FIRST 每次皆會從 OPEN 中選取最有潛力的候選組態 q ，接著 LEGAL 會針對每個與 q 相鄰的 q' 檢查其是否會造成碰撞 (collision-free)、是否已經被拜訪過 (visited) 以及使否能使 NPC 保持穩定狀態。為了避免 NPC 可能走在階梯邊緣而跌落到地面上 (即不穩定狀態)，如圖 5 所示，我們需要確保 NPC 所走訪的每一步不會讓 NPC 失去平衡。我們採取的作法為判斷 NPC 的腳底所覆蓋的區域之高度差是否小於 NPC 的最大腳步高度。

MODIFIED_BFP()

```

1  install  $q_i$  in  $T$ ;
2  INSERT( $q_i$ , OPEN); mark  $q_i$  visited;
3  SUCCESS  $\leftarrow$  false;
4  while  $\neg$  EMPTY(OPEN) and  $\neg$  SUCCESS do
5       $q \leftarrow$  FIRST(OPEN);
6      for every neighbor  $q'$  of  $q$  in the grid do
7          if LEGAL( $q'$ ) then
8              mark  $q'$  visited;
9              install  $q'$  in  $T$  with a pointer to  $q$ ;
10             INSERT( $q'$ , OPEN);
11             if  $q' = q_g$  then SUCCESS  $\leftarrow$  true;
12         if SUCCESS then
13             return the backtracked feasible path
14         else return failure;

```

圖 4. The MODIFIED_BFP algorithm

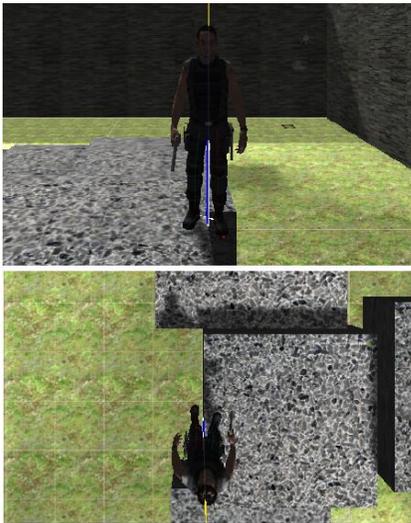


圖 5. NPC 之不穩定狀態

3.4 區域性運動規劃與路徑的拜訪

在將全域規劃的路徑平滑化(smooth)後，本研究以圖 6 中的程序計算區域性運動規劃，使 NPC 得以移動實現所要執行的路徑。假設組態 q 記錄著 NPC 目前在 3D 場景中的位置，而 q' 為 q 在 PATH 中的下一個組態，當 NPC 嘗試往路徑中的下一個位置前進時，WALK 與 JUMP 副程序會分別檢查 NPC 是否能從 q 順利地以行走或跳躍的方式(動作)到達 q' 。雖然在全域性路徑規劃計算路徑時已經確保此條路徑是合法的，但是由於我們允許環境能動態地被改變，所以在 NPC 實現路徑的過程中仍需再次確認每一步的合法性，並計算出在路徑上移動 NPC 所需做出的動作。本研究所使用的角色動作系統[3]是以方向、速度與指定的動作(本研究在這裡只有使用行走與跳躍的動作)做為參數，讓 NPC 做出相對應的連續動作。在 LOCOMOTION 副程序中，我們藉由 DIRECTION 所計算出 q' 與 q 的切線方向當作此角色動作系統的方向參數，並根據下一步的高度差指定行走或跳躍的動作讓 NPC 執行。若 NPC 無法產生適合的動作到達 q' ，則 q 會成為新的起始組態(initial configuration)，讓全域性路徑規劃再重新計算新的合法路徑。

```

VISITING_PATH()
1  COLLISION ← false;
2  for every  $q$  in PATH except the last element do
3    if WALK( $q$ ) then
4       $d$  ← DIRECTION( $q, q'$ );
5      LOCOMOTION(walk,  $d$ );
6    else if JUMP( $q$ ) then
7       $d$  ← DIRECTION( $q, q'$ );
8      LOCOMOTION(jump,  $d$ );
9    else
10      $q' \leftarrow q$ ;
11     COLLISION ← true;
12     break;
13 if COLLISION then repeat to plan path;

```

圖 6. The VISITING_PATH procedure

4. 實驗評估

為了瞭解本研究設計的運動規劃是否能藉由將其應用於真實的即時戰略遊戲中，以達到增加玩家遊戲樂趣之目的，我們在 Unity 上以 C# 實做一個遊戲，並請七位受試者進行問卷調查與訪談，以做為實驗評估的依據。在本章節中我們將依序介紹此遊戲以及實驗評估的分析與結果。

4.1 遊戲介紹

我們設計的遊戲場景如圖 2 所示，NPC 的任務是要從固定的起點在 50 秒內到達終點，如圖 7 所示。在這 50 秒內，玩家可以任意擺放障礙物於場景中阻撓 NPC，不過玩家可以擺放的障礙物只有 12 個，其中六個是 NPC 無法踩上去、只能跳上去的黃色障礙物，如圖 8 所示。另外六個是 NPC 無法跳上去的紅色障礙物，如圖 9 所示。

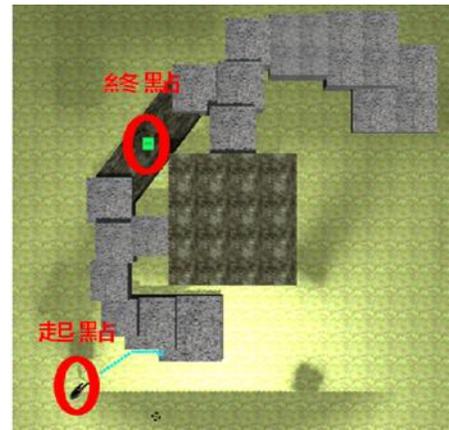


圖 7. NPC 的起點與終點

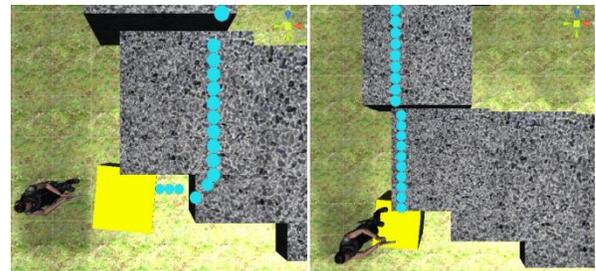


圖 8. NPC 可以跳上去的黃色障礙物。當左圖中的 NPC 在行進過程中偵測到在原本規畫好的路徑(藍色圓點)上出現新的黃色障礙物，則 NPC 會重新規畫路徑；右圖為 NPC 沿著新的路徑跳上障礙物。

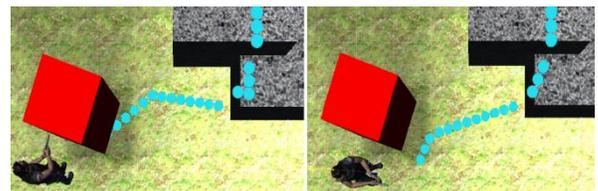


圖 9. NPC 無法克服的紅色障礙物。當左圖中的 NPC 在行進過程中偵測到在原本規畫好的路徑上出現新的紅色障礙物，則 NPC 會重新規畫路徑；右圖為 NPC 沿著新的路徑避開障礙物。

雖然黃色障礙物阻擋 NPC 的效果不如紅色障礙物，但若將黃色障礙物疊在較高的地形上，便能產生黃色障礙物阻擋 NPC 的效果，如圖 10 所示。因為黃色障礙物最終的高度與 NPC 站立之石階高度差若大於 NPC 的最大腳步高度，所以 NPC 將無法跳上黃色的障礙物。障礙物除了有個數限制與高度差異，兩種顏色的障礙物各有三種不同大小的尺寸，如圖 11 所示。此外隨著遊戲的進行，NPC 的行進速度會越來越快。

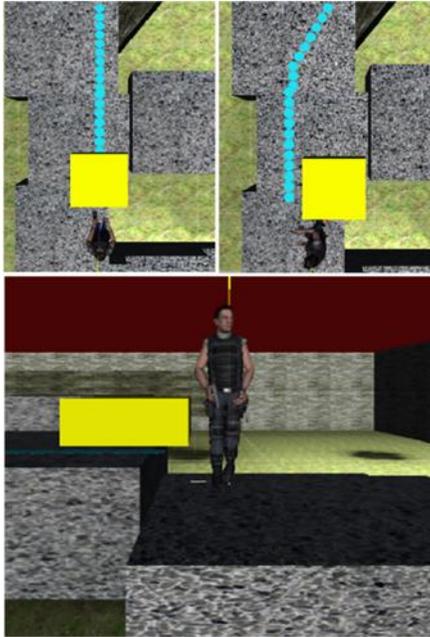


圖 10. 疊放在石階上的黃色障礙物

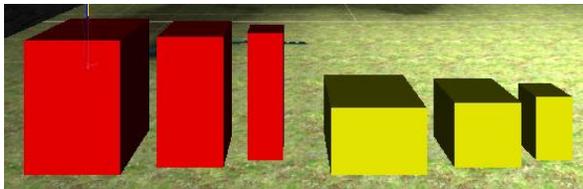


圖 11. 玩家可擺放的障礙物種類

我們設計的遊戲介面如圖 12 所示，主畫面的來源是一個從上方俯視 NPC 的攝影機視野，此攝影機會一直跟著 NPC 移動與旋轉。左下角的子畫面的來源是另一個一直跟在 NPC 後方的攝影機之視野，玩家可以從此畫面更精準的判斷 NPC 前方的地形；而右下角的子畫面則是一個位於遊戲場景正上方之固定攝影機拍攝到的畫面。玩家可以從此畫面觀察遊戲場景整體的情況，包括已使用的障礙物的位置分布，以讓玩家更方便規劃策略。玩家可以用鍵盤的上下左右鍵控制畫面正中間的橘色游標於介面中的位置，並以滑鼠左鍵點選介面上排之十二個正方形按鈕（包含不同高度及大小的方塊），以將其擺放到場景中的指定位置。右上角的藍色數字為遊戲進行的時間，而在 NPC 前方排列整齊的數個藍色小圓點為 NPC 即將走訪的路線部分線段，玩家可以依據此提示擺放障礙物。

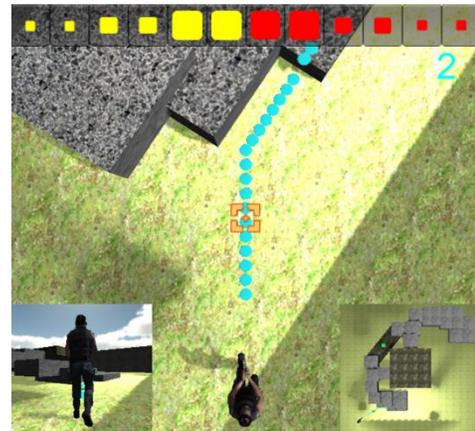


圖 12. 遊戲介面

4.2 實驗分析與結果

我們的實驗流程包含為受試者介紹遊戲規則與介面操作、受試者觀看兩支範例影片、受試者親自試玩遊戲、受試者填寫問卷與接受訪談，其中影片的內容示範了兩種贏 NPC 的策略。

在第一支影片中所示範的策略為不斷擺放障礙物阻撓 NPC，使 NPC 超過 50 秒仍無法走到終點完成任務，如圖 13 所示。在此策略中，NPC 原本欲從綠色箭頭 1 的方向跳上石階，但是被黃色障礙物擋住後，NPC 只能繞到右方跳上石階；接著每當 NPC 一轉身我們就快速地擺放紅色障礙物阻撓 NPC，之後 NPC 只能回到地面從另一側的階梯上去，此時遊戲時間已耗費了超過 20 秒。NPC 朝著箭頭 2 的方向走時我們也用同樣的方式布置障礙物，最後當 NPC 回頭欲往箭頭 3 的方向走時，遊戲時間已經結束。由於紅色(較高)障礙物只有六個，因此第一個策略須善用前述將黃色(較矮)障礙物疊在高位位置的技巧；此外，因為尺寸較小的障礙物難以單獨堵住通道，需要連續擺放障礙物至適當的位置才能堵住通道，(如圖 13 中，長方形墨綠色石階的一端需要兩個最小尺寸的紅色障礙物才能讓 NPC 無法穿過)，因此玩家也需較熟悉遊戲介面，才能既快速又有效地擺放障礙物以阻擋 NPC。

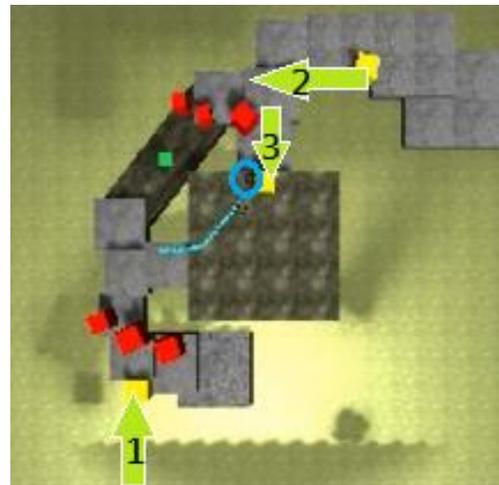


圖 13. 第一支範例影片在遊戲結束後的場景；NPC 以藍色空心圓圈標記

第二支影片示範的策略為利用遊戲場景中特殊的地形(由一層層的灰色與墨綠色石階物件所組成)將 NPC 困在石階上，

以至於無法找出能到達終點的路徑完成任務，如圖 14 所示。NPC 的前方或左方已經被較高的紅色障礙物堵住，而右方與後方因為 NPC 所站立的石階距離地面太高，以至於 NPC 無法走或跳到地面，因此運動規劃演算法找不到路徑。此策略需要在 NPC 的行進速度還沒變很快的情況下比較適用，因為本遊戲所設計的石階地形轉變幅度稍大，每當 NPC 轉變方向，主畫面也會與 NPC 同步轉向，則此時玩家會較難瞄準其欲放置障礙物之位置。當 NPC 的行進速度加快時，玩家很容易會將障礙物擺偏而失去堵住 NPC 的效果。一般而言，玩家需要較熟悉遊戲地形與介面的操作才能善用此策略，並在 NPC 轉彎時及時放置障礙物。

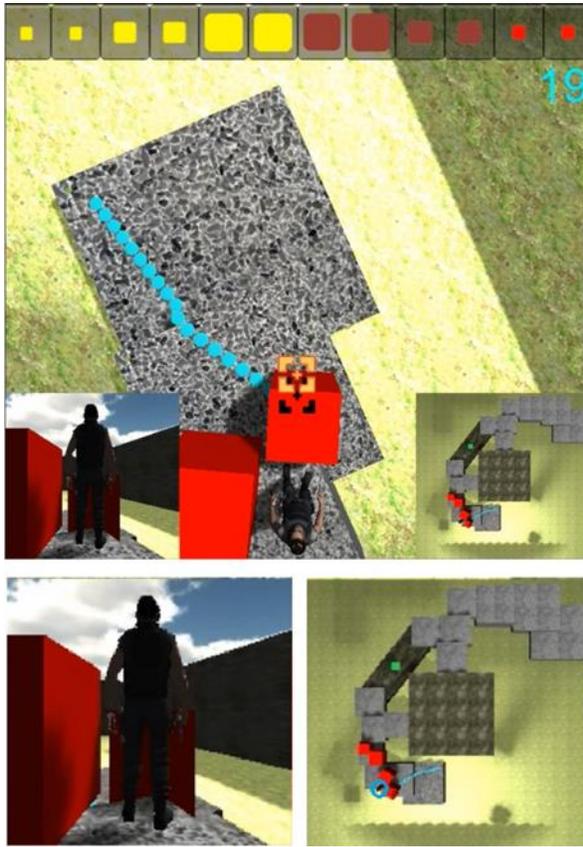


圖 14. 第二支範例影片在遊戲結束後的場景

本研究對每位受試者個別做了問卷調查，以了解他們對這遊戲的想法與建議。部分受試者在填寫完問卷後接受更深入的訪談。我們設計的問卷共有十九題，其中有三題為開放式問答，其他十六題為五點量表。五點量表的選項為：非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意，我們給予每個選項的分數依序為：5分、4分、3分、2分、1分，這些分數用以計算每道題目的平均分數(arithmetic mean, average)與標準差(standard deviation, SD)。平均分數越高的題目表示受測者越滿意或越同意該選項之敘述，而標準差越大的題目表示我們可能需藉由問卷調查後的訪談個別來了解受測者的個別差異及想法。我們將從這些數值分析每道題目所隱含的意義。

接受本次實驗調查的受測者共有七位，我們並沒有限制受試者測試遊戲與填寫問卷的時間，表 1 記錄了這些受測者在進行實驗的狀況。由表 1 可知，受測者 C 的測試時間與測試次數相對其他受試者是比較少的，很有可能受測者 C 對於遊戲目

標與遊戲設計的理解較不明確。此外，雖然受測者 G 的測試時間與測試次數是最少的，但是他在第一次測試時便取得勝利。

表 1. 受測者的實驗記錄

受測者代號	測試時間 (單位： 分鐘)	測試 次數	贏的 次數	對即時戰略 遊戲的了解 程度
A	10	8	1	看別人玩過
B	9	9	0	玩過
C	4	3	0	玩過
D	6	7	1	玩過
F	6	5	0	玩過
G	2	2	1	玩過
H	16	15	1	玩過

為了凸顯玩家藉由擺放障礙物干擾 NPC 的遊戲樂趣，我們對擺放障礙物的規則加以限制，例如，遊戲有五十秒的時間限制、NPC 的速度在遊戲進行中會越來越快等。此外，為了凸顯障礙物的高度、尺寸大小差異與 NPC 能因應各種地形的能力，我們也設計了層層環繞的階梯場景。為了瞭解這些遊戲規則與設計是否能增加遊戲樂趣，我們也設計一些題目探討受測者的真實想法。

表 2. NPC 速度變化的相關題目

題目	平均值	標準差
1. 感覺到 NPC 在遊戲中的速度越來越快	4.00	1.07
2. 認為 NPC 在遊戲中的速度越來越快會增加贏 NPC 的難度	4.43	0.50
3. 認為 NPC 在遊戲中的速度越來越快會影響到你擬定策略	3.43	0.90

我們的問卷包含了 NPC 的行進速度變化的相關題目，如表 2 所示。第 1 題的回饋顯示，大部分受試者都感受到 NPC 在遊戲中的速度越來越快，但個別差異較大。對第 2 題受試者一致認為 NPC 的速度加快會讓遊戲變難。不過大家第 3 題的回饋平均值偏低，標準差也較大，表示 NPC 的速度變化不見得會讓玩家在策畫戰略時將其納入考量，這或許與 NPC 在時間壓力下能思考變換策略的時間有限相關。換言之，在時間壓力下，玩家所採用的策略應大致相同，只是擺放障礙物的效率應該會隨著對遊戲熟悉的程度而逐漸提升。

關於本實驗遊戲的地形設計與遊戲時間的限制是否能增加玩家的遊戲意願，我們在問卷中設計了相關題目，如表 3 所示。在第 4 題的回饋中，多數受測者皆認同環境的複雜度會影響遊戲的難度。因此，在更完整的即時戰略遊戲中，應該可以設計更多複雜的地形在遊戲中做場景轉換，以凸顯 NPC 的規劃能力與增加遊戲的挑戰性。當然，有些玩家可能會因為一些遊戲的規則設計太艱鉅而失去挑戰遊戲的樂趣，因此遊戲參數調整也相當重要。第 5 題想要了解的即是受試者對於進行多次遊戲的意願是否會受遊戲時間限制的影響。問卷結果顯示，受試者對此並無共識，我們認為五十秒的遊戲時間限制對遊戲樂趣應仍屬恰當。

表 3. 遊戲地形複雜度與時間限制的相關題目

題目	平均值	標準差
4. 認為越複雜的遊戲地形會增加遊戲的難度	4.43	0.90
5. 認為 50 秒的遊戲時間限制太難	2.57	0.50

(太短)，會影響多次進行遊戲的意願

我們進一步希望瞭解藉由允許即時戰略遊戲中的環境能發生動態的變化，是否使玩家獲得更好的遊戲體驗。因此我們的問卷題目設計中，分別針對障礙物的高度差異、尺寸大小差異與個數限制的遊戲設計，探討是否能增加受測者的遊戲樂趣與提升遊戲的豐富性，如表 4 所示。本實驗問卷的第 6 題至第 11 題都得到多數受測者肯定的回饋，且分數平均值都大於 4.00、標準差皆不超過 0.76。根據此實驗結果，我們可以肯定若增加改變遊戲環境的玩法的多元性，確實能帶給玩家更好的遊戲體驗。

表 4. 障礙物相關的題目

題目	平均值	標準差
6. 認為障礙物有高度差異可以增加遊戲樂趣	4.14	0.64
7. 認為障礙物有高度差異會影響擬定策略	4.43	0.50
8. 認為障礙物有大小差異可以增加遊戲樂趣	4.43	0.73
9. 認為障礙物有大小差異會影響擬定策略	4.00	0.76
10. 認為障礙物有個數限制會增加贏的難度	4.71	0.45
11. 認為障礙物有個數限制會影響擬定策略	4.29	0.70

我們假設 NPC 能藉由其適應動態環境之能力與玩家互動，則玩家能從玩法的挑戰性中獲得遊戲樂趣。我們針對受測者對 NPC 之能力的觀感進行調查，如表 5 所示。第 12 題的設計是請受試者評估 NPC 完成任務的企圖心，結果全都給予肯定的答案，回饋的平均值更是高達 4.86。接著我們以第 13 題來了解受試者是否認為 NPC 是聰明的，結果受試者全給予肯定的回饋，回饋的平均值為 4.43。根據以上的實驗結果，我們可以確認允許環境動態改變有助於玩家認可 NPC 的智慧與能力。

在表 5 中的第 14 題及第 15 題是詢問受試者對玩法特殊性的看法，幾乎得到了所有受試者肯定的回饋。根據上述的實驗數據，我們認為我們設計良好遊戲體驗的目標應已達到。

表 5. 研究目標相關的題目

題目	平均值	標準差
12. 認為即使環境發生變化，仍能感覺到 NPC 向目標邁	4.86	0.35
13. 根據 NPC 適應環境變化的能力，覺得 NPC 聰明	4.43	0.49
14. 認為玩家可以藉由放置障礙物來阻撓 NPC 向目標邁進的玩法是有趣的	4.29	0.45
15. 認為將「玩家可以藉由放置障礙物來阻撓 NPC 向目標邁進」的玩法加入其他你知道的即時戰略遊戲中，可以增加該遊戲的樂趣	4.14	0.64

根據表 6，除了受試者 B 的回饋是「普通」外，大部分的受試者對是否擬定策略來擺放障礙物的回饋是「同意」。受試

者 B 在訪談時表示他只是覺得沒有每次都有使用策略，所以既不同意也不否定，但因為他仍有描述他的策略，因此我們可將他的回饋視為肯定的。根據第 17 題的回饋顯示，受試者 A 使用的策略有考慮到障礙物高度差異、大小差異及 NPC 的速度變化。一開始他先用掉小障礙物與黃色障礙物拖延時間，當 NPC 速度變快後，一旦走在較窄的台階上時，就擺放紅色障礙物以確保較能有效阻擋 NPC。受試者 D 的策略則是利用遊戲的特殊地形—遊戲終點位於長方型(長方體)的台階上，使用大的紅色障礙物堵住此台階的兩端，讓 NPC 無法到達終點，此策略比較需要受試者較熟悉遊戲介面的操控才能較準確地擺放障礙物，因為當 NPC 走到終點的另一端時期速度已經加快，受試者很容易擺偏障礙物。受試者 F 使用第二支影片所提供的策略贏了遊戲。受試者 G 使用的策略是在台階上快速的擺放多個障礙物使其相連以有效阻擋 NPC，並善用將黃色障礙物疊在台階上以有效阻擋 NPC 的技巧。受試者 B、C、E 雖然沒有贏 NPC，但也嘗試擺放不同的障礙物想讓 NPC 繞遠路，看是否能撐過 50 秒讓遊戲結束。根據這些受試者所提供的策略，我們認為本研究對此遊戲所設定的遊戲規則，如：障礙物有個數限制、高度差異與大小差異以及遊戲時間限制，都能影響受試者對策略的運用，而這些策略有相當多元的發展。

表 6. 受試者的策略

受測者代號	16. 你有擬訂策略來擺放障礙物	17. 略述你使用的策略
A	同意	一開始先把小障礙物放掉，盡量先放黃色障礙物拖延時間，之後 NPC 速度變快就比較可以用紅色方塊亂投，且接近障礙物的狹窄台階使用紅色方塊比較容易擋住 NPC
B	普通	選擇繞遠路的策略，盡量放置障礙物拉開距離
C	同意	盡量讓 NPC 繞遠路以拖時間，並利用黃色障礙物增加高度達到紅色障礙物的功能(無法讓 NPC 通過)
D	同意	放置紅色障礙物圍住終點目標讓 NPC 無法走到終點
E	同意	先放紅色障礙物使 NPC 繞路
F	同意	NPC 一旦改變方向就馬上放紅色障礙物
G	同意	利用地形的落差提高黃色障礙物的阻擋性，並快速結合障礙物造成短時間的死角

在第 18 題中，我們調查受試者對此遊戲的建議，提供 a~e 五個選項讓受試者勾選，如表 7 所示。由於本遊戲將界面的主畫面設計成俯視 NPC 並隨著 NPC 移動或旋轉，且游標也會與 NPC 同步旋轉以確保游標在主畫面的相對位置不變，所以當 NPC 轉向時，主畫面也會跟著旋轉。因此，當受試者瞄準某個地方想放置障礙物時，若 NPC 開始轉向，則玩家又必須重新瞄準欲擺放障礙物之位置，除非受試者能在 NPC 轉向前就抓準時機擺放障礙物。有 5 位受試者認為主畫面會與 NPC 同步旋轉的設計會影響擺放障礙物之位置的判斷，我們若能讓主畫面不跟著 NPC 旋轉，應該就能解決此問題。

此外，主畫面俯視 NPC 的設計讓 5 位受試者無法感受到地形的起伏，即便在主畫面左下角有側視 NPC 的子畫面能辨別地形高度，但是有可能在遊戲中未能分神去看此子畫面，所以可能造成受試者在前幾回的遊戲中擺放障礙物時較難利用地形高度差異來計劃如何擺放障礙物。我們亦可將側視 NPC 的子畫面在適當的放大一些，或是將此畫面與障礙物的按鈕放在同一區，讓受試者能較自然的看到此子畫面，以改善問題。而右下角的全景俯視的子畫面也可與障礙物的按鈕放在同一區，以提醒玩家已經在那些地方放過障礙物。

表 7. 建議

18. 建議	人數
a. 主畫面會隨著 NPC 的旋轉而旋轉，此設計會影響擺放障礙物之位置的判斷	5
b. 在遊戲進行中不會注意到左下與右下的視窗	3
c. 地形高度難以由主畫面判斷	5
d. 沒有音效缺乏刺激感	4
e. 放置障礙物之游標不易控制	2
f. 其他	-

主畫面隨著 NPC 旋轉可能會造成每當 NPC 旋轉後游標就需要再重新瞄準欲擺放之位置，因此有兩位受試者(其也是測試時間最短的兩位)沒有控制游標，即點選障礙物直接使之產生在游標預設的位置。而其他有控制游標的五位受試者中有兩位認為游標用鍵盤不易控制，有受試者建議若右手控制滑鼠選取障礙物，則左手控制游標所使用的鍵盤可以使用 WASD 鍵，而不侷限於上下左右鍵；另外也有一位受試者表示直接用游標去擺放障礙物會比較直觀。一般市面上的遊戲都有適當的音效來增加玩家的刺激感，進而影響玩家對遊戲樂趣的主觀感受。有四位受試者同意沒有音效會缺乏刺激感，因此建議能增加音效。

在其他建議的部分，有多位受試者認為先試玩幾回遊戲後才能真的感受到障礙物與地形差異，因此建議試驗講解完後讓受試者先試玩幾個回合後再播放兩個範例影片，之後再讓他們開始思考戰略並實際運用在遊戲中。另外，有受試者建議可以將 NPC 的速度變化顯示在遊戲介面上提醒玩家，以增強刺激效果。除了遊戲介面的建議外，還有受試者建議其他可增添遊戲樂趣的遊戲規則，如受試者提到遊戲中可以增加使 NPC 速度變緩慢的地形或障礙物(如:水窪、泥地)，以及玩家可以自訂 NPC 的目標終點位置等。

在第 19 題我們詢問受試者印象最深刻的項目，所有受試者均同意(勾選)a 選項，此外從受試者提到「NPC 蠻聰明的」、「NPC 可以不斷判斷有障礙物新增」與「障礙物對 NPC 有不同阻擋性，而 NPC 對不同的障礙物也有不同的反應」等，我們可以判斷這幾位受試者對於 NPC 的行為有正面的感受，也隱含對本實驗所設計的運動規劃演算法的肯定。此外受試者 A 提到「路徑規劃時要考慮地形很耗腦力」，而他也是給本實驗較多正面回饋的受試者，較有趣的是他是在遊戲測試前花最多時間了解此遊戲的受試者，也是唯一一位過去沒有玩過即時戰略遊戲的受試者(僅看別人玩過)。

表 8. 令你印象最深刻的部分

19. 令你印象最深刻的部分	人數
a. NPC 改變路徑時幾乎沒有感覺到時間延遲	7
b. 其他	-

根據本次實驗得到的結果，我們可以驗證讓 NPC 具備既快速又聰明的應付環境變化之能力，以及允許即時戰略遊戲的場景能動態改變(例如：玩家可以隨意擺放不同的障礙物於環境中以阻撓 NPC)，可以增添遊戲樂趣；以及在增加動態環境變化之戰略因素的同時，若能對環境的變化加以制定適當且有效的遊戲規範(例如：玩家可控制的障礙物有不同的高度與大小)，則玩家會有更佳的游戏體驗。因此我們得以驗證本研究將運動規劃整合於即時戰略遊戲中智慧型角色的設計具有實際應用價值。

5. 結論與未來研究

本研究設計了一種能讓 NPC 在遊戲進行中即時因應環境的改變而尋找出有效合法路徑的運動規劃演算法，此種讓 NPC 更顯聰明的演算法允許遊戲場景能動態變化，經由實驗我們驗證了動態變化的遊戲場景能使玩家感受到更有趣的遊戲體驗。

本研究只設計了能讓 NPC 往前走的走法，在未來可以增加讓 NPC 側著走或其他角色行進中的姿勢以增加遊戲豐富性。另外為了簡化計算，本研究只考慮從正上方往下看能看出的場景高度變化，即本研究所設計的運動規劃演算法只能用於將 3D 遊戲環境轉化成一層的 2D 平面，未來可以加入 NPC 高度的考量與更複雜的地形，讓 NPC 能走在兩個不同高度的平面之間或上下斜坡。

6. 致謝

本研究在國科會計畫 (MOST 104-2815-C-004-040-E) 資助下完成，特此致謝。

7. 參考文獻

- [1] T.-Y. Li and P.-Z. Huang (2004) "Planning Humanoid Motions with Striding Ability in a Virtual Environment," in *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*.
- [2] T.-Y. Li, P.-F. Chen and P.-Z. Huang (2003) "Motion Planning for Humanoid Walking in a Layered Environment," in *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*.
- [3] R. S. Johansen (2009) *Automated Semi-Procedural Animation for Character Locomotion*, Master's Thesis Department of Information and Media Studies Aarhus University.
- [4] N. Jaklin, W. van Toll and R. Geraerts (2013) "Way to go - A framework for multi-level planning in games," in *Proc. of 3rd International Planning in Games Workshop*.
- [5] D. Flavigne and M. Taix (2011) "Interactive Locomotion Animation using Path Planning," in *Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, IEEE 16th Conference.
- [6] J.C. Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer Publishing, 1991.