

以無限行走技術實現創新的虛擬實境尋物遊戲

Design of a Virtual Reality Game with Infinite Walking

李筱涵

國立政治大學 資訊科學系
台北市文山區指南路二段 64 號
105703001@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
li@nccu.edu.tw

摘要

在虛擬實境中的移動，常因實體空間大小的限制，以致玩家必須以手把控制進行瞬間移動，不如以行走的方式移動來得自然，因而常使玩家的體驗品質大幅降低。為了讓玩家能不受限於實體空間的大小，真實的走進虛擬世界中，近年來有學者提出多種無限行走 (Infinite Walking) 的技術，在有限的實體空間中創造出大小無限的虛擬場景，讓玩家彷彿能在虛擬的環境裡無止境地行走。文獻中有許多學者提出不同的方法實現此功能，但較少透過內容的設計強化此技術的適用性。本研究結合兩種主要的無限行走技術，並透過遊戲內容與互動性的設計，強化無限行走技術與遊戲設計的契合度，動態生成障礙物和誘導物，使玩家自然地在場景中移動並完成任務。我們透過評估實驗設計，比較無限行走系統和傳統 VR 移動方式的優劣處，並根據使用者的回饋來驗證系統設計的成效。

關鍵字

Virtual Reality, Infinite Walking, Redirected Walking, Dynamic Spaces

1 簡介

VR 遊戲開發的過程中，除了遊戲內容體驗外，玩家的移動方式對於遊戲的投入性也有相當大的影響，在相同的遊戲內容下，如能用更符合自然的方式移動，可以增強玩家的遊戲體驗；例如，將控制手把的瞬移改成原地踏步前進，或者是在空曠的空間中自然的走動，體驗大型的 VR 遊戲。然而，空曠的空間並非隨處可得。

近年來，許多學者提出虛擬實境中的無限行走技術，希望能在有限的實體空間中，讓玩家走出比實體空間更大的虛擬空間。本研究的目標即在利用無限行走的主要兩個技術——重定向行走(Redirected Walking, RW)來改變玩家在虛擬環境中的旋轉角度，和動態空間配置(Dynamic Spaces, DS)使場景在玩家的視線範圍外時改變相對位置，並且加強無限行走技術與遊戲設計的契合度，透過遊戲內容的互動，預測玩家行走方向及偵測實體與虛擬空間的危險性，來誘導及提示玩家如何在有限的實體空間中，走出比實體空間更大的虛擬空間，且讓玩家不易察覺到空間的限制及場景的變化，進而能更專注於遊戲內容的體驗。

在重定向行走(Redirected Walking)的技術上，我們使用 Azmandian 等人開發 Redirected Walking Toolkit [9]中的 Steer to Center 功能，來引導玩家在虛擬環境中自由行走，並且增加「預測玩家路徑」以及「偵測虛擬環境及實體環境」兩種數值的設計，來評估玩家遇到實際邊界或虛擬障礙物的風險，以提前阻擋玩家繼續前進，或誘導玩家遠離實體邊界。

另外，在動態空間配置(Dynamic Spaces)技術上，當玩家離開某一子空間，在到達下一個子空間前的通道上，系統便會啟動設計好的機制，在玩家的視線範圍外改變場景的相對配置，讓玩家能用較少的實體空間，走向下一個子空間。

本研究在 Azmandian 等人設計的 Redirected Walking Toolkit 上，加強遊戲的契合度，減少玩家碰壁的次數，希望能在 VR 遊戲中實現 Infinite Walking 技術，且善用此技術於遊戲內容的設計中。最後我們透過實驗設計，比較傳統 VR 中的行走方式與加入 Infinite Walking 的行走，以對此新型態遊戲體驗進行評估與分析。

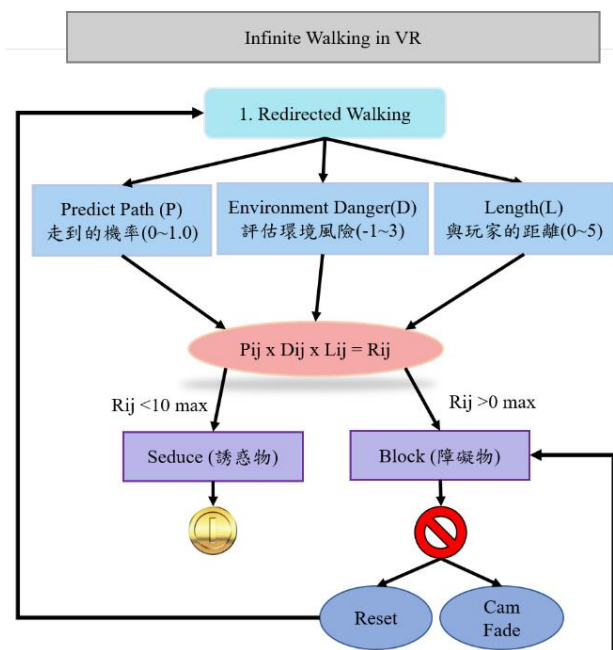


圖 1-1. 系統架構圖-1

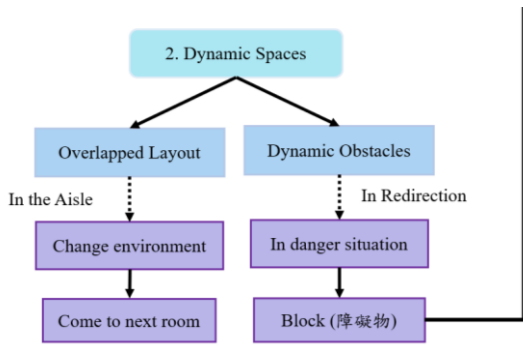


圖 1-2. 系統架構圖-2

2 文獻回顧與探討

虛擬環境中無限行走的技術主要有兩大類，一類是重定向行走(Redirected Walking)，讓玩家在虛擬場景中行走產生角度變化時，改變玩家的旋轉角度，引導玩家走向實體空間的中心；另一類是動態空間配置(Dynamic Spaces)，即是在玩家的視線範圍被遮蔽時，能改變場景或移動路線的相對位置，使玩家用較少的空間走出不一樣的虛擬場景，以讓玩家感覺彷彿在偌大的虛擬空間中走動。

2.1 重定向行走 (Redirected Walking)

除了實際空間的大小外，還需要考慮場景中障礙物或是標的物的擺設，Razzaque 等人的研究[1]為了實現重定向行走技術，讓玩家必須走向指定的物件，不斷地記錄其行走方向和停留位置，在其佇足和行走期間，旋轉場景的角度，讓旋轉角度與其直線行走的速率或旋轉速率成正比成長，計算出讓玩家不易察覺到失真的門檻。Azmandian 等人[2]實現了一個重定向行走技術的方法，請玩家跟著預設路徑行走，在事先設計好的一系列公式配置解法上，輸入玩家當前的狀態(位置及方向)，以輸出調整過後的畫面，讓玩家能在行走的空間上有最好的效果。若玩家偏離預設路徑太多，則會增加調整幅度，以確保玩家走回預設路徑上。

Suma 等人的研究[3]實現了上述兩文獻的技術，在玩家探索環境時，動態改變環境方向，以最佳方式引導玩家遠離邊界或障礙物，在虛擬世界中實現無限行走的體驗。如圖 2 所示，紅線為實際行走路線的紀錄，藍線為虛擬實境中行走路線的紀錄。



圖 2. Redirected Walking 作用範例 (截自[3])

Hopp and Fuchs [4]的研究指出，人類的視覺系統在掃視過後，會重新校準方向並對方位做預設，因此 Sun 等人[5]利

用 VR 的頭盔(HMD) 和眼動追蹤(gaze-tracking cameras)去偵測眼神掃視的方向，在玩家的視線範圍外，重新定位場景角度，避免碰撞可預測之實體空間中的物體。

2.2 彈性空間 (Flexible spaces)

Vasylevska 等人[6]則是運用彈性空間(flexible space)，將空間動態重疊布局，事先設定好玩家的移動路線，在其走到指定的死角時，自動重定位和重建環境。以虛擬博物館為例，玩家會將注意力放在展覽而非路徑上，因此當玩家經過走廊到下一個展場時，不易察覺實際上是在重複的空間中移動。如圖 3 所示，藍色長方形為走廊，紅色及黃色正方形為不同的展場空間。

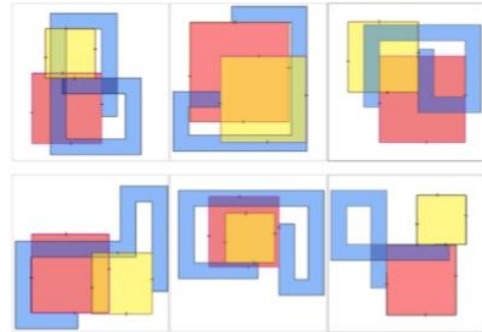


圖 3. Flexible Space 空間配置範例 (截自[6])

2.3 兩種技術的結合

Reimer [7]的論文中提到，重定向行走半徑必須大於 22 公尺，玩家才不易察覺，但是此大小在硬體設備和實體空間上都很難實現，因此提議將重定向行走(Redirected Walking)與動態空間(Dynamic Spaces)兩種技術進行整合運用(如圖 4)，在方形空間做動態場景的轉換，而在長形走廊使用重定向行走技術，但實際上都是在 4m x 4m 的空間中來回移動。



圖 4. Combination of the Walking Method 範例 (截自[7])

Reimer [7]將兩種技術比較後發現，重定向行走若能在半徑 22 公尺的實體空間中執行，能走出比動態空間更大的虛擬空間，並且往同一個方向走可以無限地走下去，但是移動時可能會產生暈眩不適應，且限制了單一的移動方向。使用動態空間可以讓使用者更自由的在固定空間中走動，不會變

換場景的角度，但需要規劃複雜的路徑，讓玩家行徑時不易察覺到走在重複的空間中。

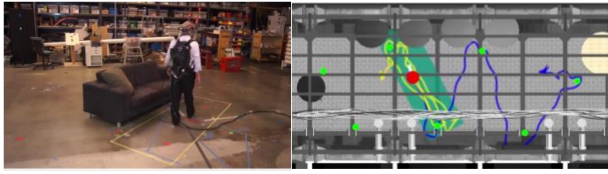


圖 5. Redirected Walking Toolkit 範例 (截自[9])

2.4 Redirected Walking Toolkit

Hirt 等人[8]對虛擬環境的空間配置作偵測，查看玩家的視線範圍有哪些路徑可以移動，透過頭盔的追蹤，預先規劃玩家未來會前進的位置，並且針對此位移，變化重定向行走的旋轉角度。Azmandian 等人[9]設計出了一個包含 Redirected Walking Toolkit 的平台，可供 VR 遊戲開發者使用，透過調整移動範圍和玩家旋轉的參數，可將重定向行走技術套用在任何的遊戲場景中(如圖 5)。

3 系統設計

本研究希望能設計出一套虛擬實境的遊戲，讓玩家可以不受實體空間限制，在虛擬空間中行走，專心投入於遊戲內容之中。我們將遊戲內容設定在不需要與角色互動，可以獨立完成的尋物遊戲。在尋找的過程中，使用者需不斷掃視，也會把移動速度放慢，將注意力放在物品本身而非虛擬場景，如此玩家便不會太注重場景的重定向及動態障礙物的變化，慢速移動也能讓玩家減緩對畫面的不適應感。

本研究根據 Reimer [7]所提的技術整合運用，結合重定向行走(Redirected Walking)及動態空間配置(Dynamic Space)技術，改善與加強 Mahdi Azmandian 等人提出的 Redirected Walking Toolkit (RDWT)[9]，例如，增加預測玩家路徑及偵測環境危險值，以動態生成障礙物及誘惑物，減少玩家碰壁次數等。

我們使用跨平台遊戲設計引擎 Unity3D，以 C#作為主要開發語言，進行本研究所需系統的開發。玩家將透過 HTC Vive 載具(HMD、控制器)進入虛擬世界，與遊戲的內容進行互動。

3.1 場景設計與技術運用時機

3.1.1. 四個子空間

我們所設計的虛擬場景為一個學校，在四個不同的教室(如圖 6)中尋找任務所需的物品。玩家在場景中移動時，會不斷的經歷重定向行走技術(Redirected Walking, RW)，引導玩家走向實體場景較寬闊的方向，透過預測路徑和偵測環境，來動態產生障礙物，阻擋玩家繼續前進到合法的實體空間外。

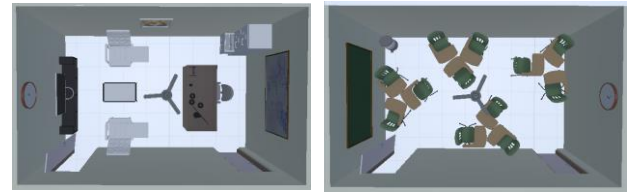
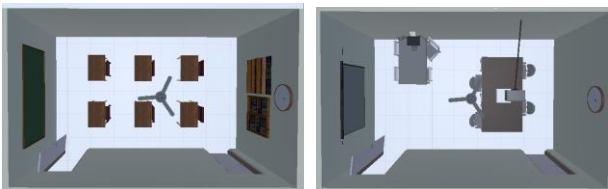


圖 6. 場景四個子空間設計的俯視圖

3.1.2. 走廊動態配置通道(Dynamic Spaces, DS)

當玩家離開第一間教室，來到第二間教室時，會經過 DS 的通道，玩家走進通道後，視線會被通道的牆壁遮蔽，此時系統會在玩家的視線範圍外動態改變通道配置，並且平移教室位置(如圖 7 所示)，讓玩家進入下一間教室。因此玩家可以用較小的實體空間，移動到下一個子空間，且不會發覺場景有異常的變化。



圖 7. 走廊與動態空間配置設計(上)通道位於第一間教室且出教室後的移動方向為左轉後右轉，再右轉後，原本通道中的牆壁會改變方向。(下) 平移教室後的通道，接著再右轉之後直走就能進到下一間教室。

3.2 系統實作

本研究在系統實做的內容主要分成三個部分：改善並加強 RDWT 功能、動態空間配置的設計、預測玩家路線並評估風險。

3.2.1. 改善並加強 RDWT 功能

a. 調整實體邊界的偵測

針對 Azmandian 等人設計的 Redirected Walking Toolkit，我們在偵測玩家碰壁及回饋上做了一些改善，將原先不準確又複雜地以角度及法向量偵測邊界的函式，改以偵測玩家實體位置及面對方向作為依據。當玩家實體位置在實體邊界的 0.5 公尺處，且頭盔面向實體空間的外圍時，系統會出現提示功能，請玩家跟著提示轉，進而引導玩家轉回實體空間較為空曠的地方；若玩家未跟著指示做，則加上更強烈的阻止機制，讓頭盔的畫面變黑，限制玩家繼續前進。

b. 將 reset 提示功能結合遊戲內容

當玩家接近且面向實體邊界時，即會啟動 reset 功能，引導玩家旋轉 180 度，轉向實體空間的中央處，而虛擬畫面則會旋轉 360 度，使玩家面回原本的行走路徑上。我們將原本的文字提示改為與內容較為融合的互動遊戲，讓玩家用手把去蒐集眼前出現的硬幣，在蒐集完硬幣後，原本面相邊界外

的玩家，則會在虛擬場景中旋轉 360 度，繼續原本的路徑，而實際上只旋轉 180 度面回場中央(如圖 8, 9)。



圖 8. RDWT 中的 reset 功能(第三人稱視角)(左)旋轉前玩家面向邊界外圍。(中)透過點擊金幣在虛擬空間旋轉 360 度(右)旋轉後玩家面回實體空間中央。



圖 9. RDWT 中的 reset 功能(第一人稱視角)

3.2.2. 動態空間配置的設計

a. 動態空間配置(DS)的路線規劃

當玩家從一個子空間要進入下一個子空間時，會經過通道，此時系統會啟動 DS 機制，讓玩家在未察覺環境變動的情況下，改變空間配置，玩家在虛擬空間中的路線是直線前進到下一個子空間，但實際上是繞了一圈回到 DS 通道的原點(如圖 10)。

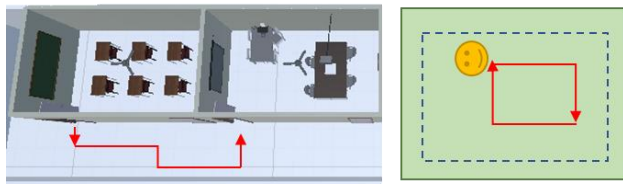


圖 10. 動態空間配置的虛擬路徑(左)與實體路徑(右)

b. 玩家是線範圍外的環境變動時機

當玩家走進設計好的通道時，玩家的視線會被高於自己的牆面遮蔽，在玩家經過轉角後，系統會在玩家的視線範圍外，對路徑做重新配置，以使下一個子空間平移到 DS 通道的出口(如圖 11 所示)，而玩家實際上是走在重疊的空間中，達到縮減實體空間使用的目的。

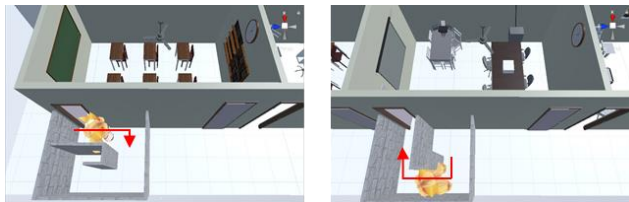


圖 11. 虛擬空間變動時機(左)變動前(右)子空間平移且通道變動後

3.2.3 預測玩家路線並評估風險

為了減少玩家因為接近邊界而被 reset 的次數，我們透過「預測玩家可能行徑方向」及「偵測周圍環境的危險性」，來判斷是否生成障礙物或誘惑物，以阻擋或誘惑玩家前進。我們在玩家前方兩平方公尺的範圍產生一個位圖(Bitmap)，用來記錄玩家的預測路線及環境偵測的結果，當玩家走到危險位置的機率值超過一定門檻時，便會產生動態的障礙物，阻擋玩家前進。相反的，若玩家走到安全區域的機率變低時，也會產生動態的硬幣，誘惑玩家走往較安全且實體空間較寬闊的區域。

a. 預測玩家行徑路線

根據玩家所在位置的座標和移動速度的外插值計算(Dead Reckoning)，我們預測玩家接下來的行徑路線，計算出可能行走路線的粗估機率值(P)(未正規化)。如圖 12 所示，通過外插值線段的方格會呈現綠色，機率設為 1.0，接著機率值會再向四周擴散而遞減。



圖 12. 預測路線，走到的粗估機率值(P)

b. 偵測真實環境與虛擬環境的障礙物

我們偵測玩家前方兩平方公尺的虛擬空間和實體空間是否有障礙物(如圖 13 所示)，並判斷哪個位置對玩家造成威脅。若虛擬空間有障礙物，則玩家不會走到；若實體空間有障礙物(含實體邊界)，則玩家將會有危險，我們將分別給予危險數值(D)。如表格 1 所示，共計分成四種情況。

表 1. 實體與虛擬環境偵測相疊後設計的危險數值

環境是否有障礙物		偵測環境是否有威脅		結果分析
虛擬空間	實體空間	會走到(虛擬)	有危險性(實體)	危險數值(D)
O	O	X	O	灰色(2)
O	X	X	X	藍色(1)
X	O	O	O	紅色(3)
X	X	O	X	白色(-1)



圖 13. 偵測環境，危險數值(D)

c. 動態生成誘導物或障礙物

根據玩家欲走到的機率(P)與環境是否有危險(D)及與玩家的距離(L)來動態生成障礙物以阻擋玩家前進，或生成誘導物以引誘玩家走向較安全的區域。我們將 5x5 bitmap 中對應的格子相乘($P_{ij} \times D_{ij} \times L_{ij}$)，得到新的結果位圖(R) (如圖 14 所示)。在偵測結果(R)上「超過 Rmax 且最大的值」會生成動態障礙物，在「小於 Rmin 且最大的值」會生成誘導物，障礙物與誘導物也將結合遊戲內容，給予玩家遊戲提示和賺取分數，目前系統的 Rmax 為 10，Rmin 為 0。

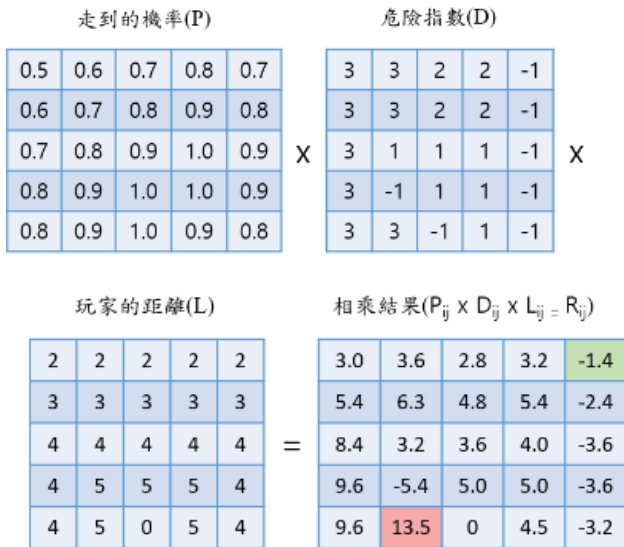


圖 14. 三個位圖(P, D, L)相乘後得到偵測結果(R)。綠色代表最安全的位置，會放置誘導物，紅色代表最危險的位置，會放置障礙物。

4 系統設計

4.1 使用 RDWT 的虛擬與實體路徑比較

我們將虛擬空間設計成 8m x 40m 的大小，而實體空間是 2m x 4m 的大小，每個子空間(教室)則是 5m x 8m。我們利用重定向行走功能(RW)，在玩家移動時，不斷改變玩家的旋轉角度，引導玩家轉向實體空間較寬闊的地方，使玩家能走出更大的虛擬空間(如圖 15, 16 所示)。

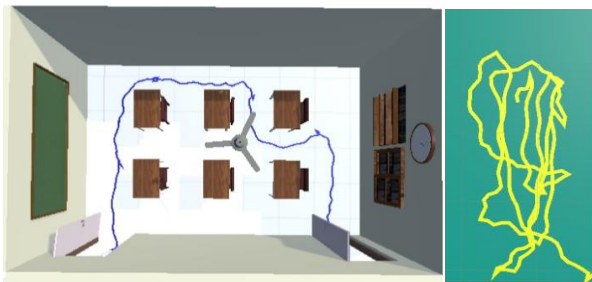


圖 15. 子空間中的虛擬路徑與實體路徑示例

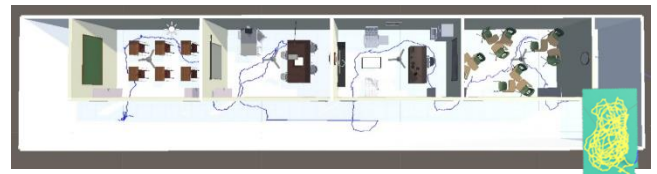


圖 16. 走過所有空間的虛擬路徑與實體路徑示例

4.2 使用 DS 通道的虛擬與實體路徑比較

當玩家走出一個子空間的前門時，因為距離下一個子空間需要走一段直線，因此設計了一個動態空間的通道(如圖 17 所示)，讓玩家走進通道後，能用較少的實體空間走到下一個子空間，繼續任務的進行。

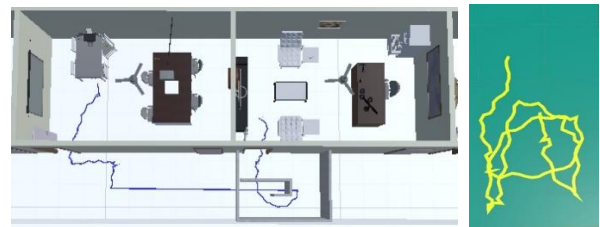


圖 17. 使用動態空間配置的虛擬路徑與實體路徑示例

4.3 遇到 reset 功能的虛擬與實體路徑比較

當玩家接近實體空間邊界面相實體邊界面外圍時，系統會啟動 reset 功能，讓玩家跟著提示的硬幣旋轉一圈，使玩家在實際旋轉 180 度後，面回實體空間的中央，而畫面會旋轉 360 度(如圖 18)，以讓玩家在虛擬畫面中的原路線繼續前進。

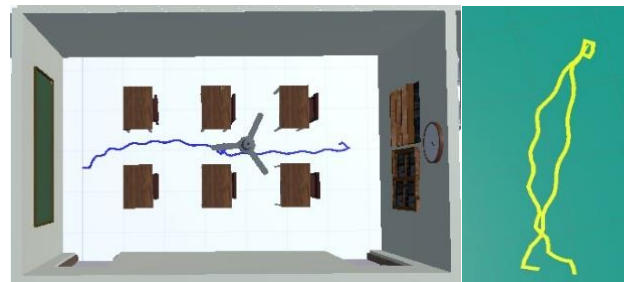


圖 18. 遇到 reset 功能的虛擬與實體路徑示例

4.4 動態障礙物出現的虛擬與實體路徑比較

在玩家行走時，系統會不斷的預測玩家路徑和偵測玩家周圍的虛擬及實體障礙物，來估算玩家前進的路途上是否有危險，進而動態出現虛擬人物的障礙物(如圖 19 所示)，提前阻止玩家繼續前行，以減少玩家接近實體邊界的次數。

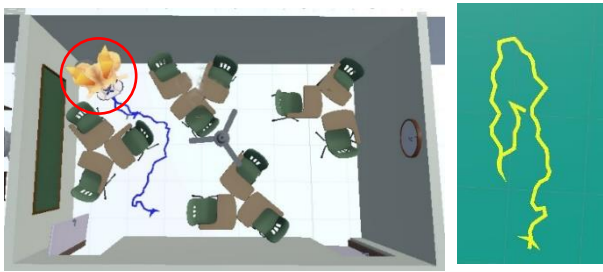


圖 19. 遇到動態障礙物(紅色圈)的虛擬與實體路徑示例

5 評估實驗

為瞭解本系統的成效是否達到當初設計的目的，我們徵得六位受試者體驗此無限行走遊戲。我們將實驗過程分成三階段，讓受試者隨機體驗三種情況。第一種情況是沒有無限行走技術，第二種情況是 Azmandian 等人設計的 Redirected Walking Toolkit，第三種情況是客製化 RDWT，即加上預測路徑功能及動態配置技術。我們將這三種情況的實驗順序以隨機排列組合(共 $3!=6$)的方式，分別安排給六位不同的受試者。本實驗採受試者內 (Within Subject) 的設計，所以受試者在體驗前面階段的遊戲後，有可能會因為學習的關係會影響到後續體驗的評價，但在隨機安排順序後，我們希望此學習效果可以得到抵銷。

5.1 實驗設計

遊戲內容皆是請玩家在場景中找尋鑰匙，每階段實驗時間為 3 分鐘，階段實驗結束後受試者會填答問卷。在尋找的過程中，會需要大量的移動及掃視，藉此達成有效的系統評估，並於體驗結束後進行口頭訪談。其中，三位受試者對於 VR 遊戲開發較為熟悉，三位受試者較少接觸 VR 遊戲，多數只玩過原地體驗的 VR 遊戲，其中五位認同空間規劃對於 VR 遊戲很重要。

實驗共分成三階段，每做完一階段實驗會進行九個問題的填答(表格 2)，以同意程度的 5 分量表(1 分為非常不同意，5 分為非常同意)填寫。

表 2. 問卷設計

Q1. 我在移動中不會感到暈眩。
Q2. 我在移動過程不會感到害怕。
Q3. 我覺得遊戲互動過程是自然的且流暢的。
Q4. 我覺得在虛擬世界中移動順暢。
Q5. 我沒有察覺到我的真實環境的限制。
Q6. 我覺得可移動到的虛擬空間比實體空間大。
Q7. 我覺得畫面的旋轉是順暢的。
Q8. 我能夠專注並沉浸於完成遊戲任務。
Q9. 我在虛擬環境中對空間的體驗與真實世界相符。

5.2 實驗結果分析

表 3. 實驗數據

	SteamVR(1)		RDWT 原型(2)		客製 RDWT(3)	
	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD
Q1	4.67	0.82	2.83	1.47	2.83	1.47
Q2	3.50	1.64	3.50	1.38	3.33	1.51
Q3	4.17	1.17	3.83	1.33	3.17	0.98
Q4	4.00	1.10	3.83	0.75	2.5	0.84
Q5	1.83	0.41	3.17	1.17	2.67	1.21
Q6	2.50	1.38	4.50	0.55	3.67	1.37
Q7	3.83	1.47	4.00	1.26	4.17	0.75
Q8	3.83	0.98	4.17	0.98	3.33	1.03
Q9	2.33	1.03	3.17	0.98	3.00	1.10

表 4. 分析結果 (*: < 0.05)

	(1) vs (2)	(2) vs (3)	(1) vs (3)
	p	P	p
Q1	0.02*	1.00	0.06
Q2	1.00	0.82	0.86
Q3	0.17	0.17	0.04*
Q4	0.77	0.01*	0.03*
Q5	0.03*	0.52	0.22
Q6	0.007*	0.09	0.03*
Q7	0.86	0.77	0.68
Q8	0.61	0.14	0.41
Q9	0.22	0.81	0.33

Q1. 暈眩程度：傳統工具 SteamVR 行走時的暈眩程度，與加入 RDWT 技術行走有顯著的差異存在，可能是由於 SteamVR 實驗中並未調整玩家的旋轉數值，而 RDWT 會不斷改變玩家旋轉角度，因此多數認為在 RDWT 機制下行走的暈眩程度較為劇烈是合理的。另一方面，不同受試者在體驗客製化 RDWT 時，暈眩程度的差異性似乎有些降低。

Q2. 害怕程度：由於戴上 VR 後行走時，無法看到真實環境，因此不管有無加入 RDWT 技術，移動時感到害怕撞到物品的程度，對同一受試者來說較無顯著差異。

Q3. 互動自然程度：在單純的 VR 行走中，尚未加入任何動態物件或提示語，因此不會有突發的事件產生，只需要完成遊戲任務即可。結果顯示多數玩家認為 SteamVR 實驗中的互動自然程度，大於加入 RDWT 後的互動自然程度，在與客製化 RDWT 機制比較時有達到顯著差異。

Q4. 移動順暢程度：在原始的 SteamVR 實驗中，對於玩家超出實體邊界，只用畫面變黑來告訴玩家不能繼續走了，而在 RDWT 原型的實驗上，玩家需要跟著文字指示走；在客製化的 RDWT 實驗中，則會有提早出現的動態物件產生，來阻止玩家碰觸到障礙物。因此動態障礙物的產生，讓玩家認為移動不是很自然順暢，必須要繞過障礙物或是另找通路才能走到自己想去的位置，結果顯示加入 RDWT 的移動順暢程度反而小於原始 SteamVR 的實驗，有顯著差異。

Q5. 察覺環境限制：SteamVR 實驗中能走到的虛擬空間與真實空間相同，而加入 RDWT 後，會在玩家移動時，改變玩家旋轉角度，因此結果顯示，RDWT 的實驗較不易察覺實體環境的限制，且與 SteamVR 實驗有顯著的差異，相符預期結果。

Q6. 虛擬大於實體空間：加入 RDWT 功能的目的是，希望玩家能走出比實體空間更大的虛擬環境，而實驗結果也顯示，玩家在實驗中加入 RDWT 後的行走空間(不論有無客製化)，感覺會遠大於實體空間，且與 SteamVR 實驗有非常顯著的差異，與預期相符。

Q7. 旋轉順暢：SteamVR 實驗中，沒有經過調整的旋轉與加入 RDWT 後的旋轉，都讓玩家認為是順暢的，因此在加入 RDWT 後的機制中，調整一定的旋轉角度，並不會讓玩家察覺異狀，沒有顯著差異，與預期相符。

Q8. 沉浸程度：在客製化的 RDWT 實驗中，加入了阻止玩家前進的動態障礙物，及引導玩家轉向的誘惑物，因此有些受試者認為，動態障礙物的出現，阻擋了他們想前進的道路，會破壞沉浸感。結果顯示，單純用文字引導轉向的 RDWT 原型，能快速的讓玩家跟著指示走，進而繼續任務的進行，但尚未達顯著差異。

Q9. 真實與虛擬體驗相符程度：由於玩家並沒有認為旋轉角度有所差異，以及在 DS 通道的行走也很自然，因此在 RDWT 中虛擬與真實體驗上的相符程度，與 SteamVR 並沒有顯著的差異，顯示加入無限行走技術也能讓玩家像真實行走一樣，自然的走在虛擬空間中。

5.3 結果與討論

5.3.1 系統設計對於無限行走技術的幫助

六位受試者皆對遊戲體驗給予肯定，認為無限行走技術的遊戲體驗是創新且好玩的，且在視覺與觸覺的回饋上也是自然的，但有三位受試者對於有無限行走技術的實驗感到較為暈眩，無法長時間遊玩體驗，也有受試者認為，在客製化 RDWT 中，用吃金幣替代文字指示，能減緩旋轉造成的暈眩感。

六位受試者都對無限行走技術能運用在實際 VR 遊戲上給予高度的期待，因為現在的沉浸式遊戲體驗，受限於電腦螢幕，在沉浸感上難以做出一個突破性的發展，因此若能在虛擬實境中加入無限行走技術，讓視覺畫面和移動空間不再受限於顯示器及有限的空間中，相信會在未來的 VR 遊戲上，具有前瞻性的突破，類似迷宮或是密室逃脫等探險類的遊戲，也能引起更多人的興趣。

5.3.2 尚可改進的地方

有受試者認為即使在 VR 遊戲上加入無限行走技術，也需要有一定大小的空間，才不會讓玩家感覺要一直被引導，且空間設計也可以是戶外的，在視覺上的感受會比較遼闊，也不會一直在虛擬空間中撞到障礙物。

也有受試者提出，由於硬幣的出現是希望玩家能夠跟著旋轉一圈，使玩家轉向實體空間較寬闊的地方，但玩家用手揮動就能吃到金幣，不一定會讓身體轉過去，而沒有達到預期的功能，因此可以用會動的小精靈，直接讓玩家追著精靈走，以有效達到 RDWT 中 reset 的效果。

另外，動態出現的人物希望可以改成小一點的物件，才不會擋住玩家的視線太多，也可以在需要找的東西的地方做點發光的提示，或是直接用虛線引導玩家走到該點，才不會讓玩家因為找不到東西而失去解任務的熱情。

最後，讓玩家碰到障礙物畫面變黑以阻擋玩家前進，會讓玩家不知道接下來該往哪裡走才能離開障礙物，因此希望可以把場景設計成戶外場所，以減少虛擬障礙物的放置，且在稍大一點的實體空間進行遊戲體驗，會讓加入無限行走技術的 VR 遊戲有較好的體驗效果和沉浸感。

6 結論

整體來說，本研究透過在 VR 遊戲中加入客製化的無限行走技術，藉由比較傳統 VR 中的行走與 RDWT 原型，讓玩家在 VR 的尋物遊戲中，體驗在有限的實體空間中走出無限的虛擬空間，並且加入預測玩家路線及動態空間配置，讓玩家能在 VR 遊戲中能體驗更豐富的遊戲內容，以解決實體空間對於 VR 遊戲設計上的限制。

由於目前的無限行走技術，只限於走動而尚未加入太多的遊戲互動功能，因此我們希望未來能將無限行走技術套用在更多型態的遊戲上，使多元的 VR 遊戲能夠更普遍的在大大小小的空間中體驗，並且將重定向行走的引導功能做的更自然，讓玩家能有更優質完整的遊戲體驗。

7 致謝

本研究在科技部計畫 (MOST 108-2813-C-004-004-E 及 MOST 108-2221-E-004-007-MY3) 資助下完成，特此致謝。

8 參考文獻

- [1] S. Razzaque, Z. Kohn, and M.C. Whitton. Redirected Walking. in *Proc. of Eurographics (Short Presentation)*, 2001.
- [2] M. Azmandian, M. Bolas, and E. Suma. Countering User Deviation During Redirected Walking. in *Proc. of ACM Symposium on Applied Perception*, 129, 2014.
- [3] E.A. Suma, M. Azmandian, T. Grechkin, T. Phan, and M. Bolas. Making Small Spaces Feel Large: Infinite Walking in Virtual Reality. in *SIG-GRAPH 2015 Emerging Technologies*, 2015.
- [4] J.J Hopp and A.F Fuchs. The characteristics and neuronal substrate of saccadic eye movement plasticity. *Progress in Neurobiology*, 72:27–53, 2003.
- [5] Q. Sun, A. Patney, L.Y. Wei, O. Shapira, J. Lu, P. Asente, S. Zhu, M. Mcguire, D. Luebke, and A. Kaufman. Toward Virtual Reality Infinite Walking: Dynamic Saccadic Redirection. *ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH 2018)*, 2018.
- [6] K. Vasylevska, H. Kaufmann, M. Bolas, and E.A. Suma. Spaces: Dynamic Layout Generation for Infinite Walking in Virtual Environments. in *Proc. of 2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 2013.
- [7] D. Reimer. The Illusion of Infinite Space inside a Positional Tracked Virtual Environment. Thesis for *Masters of Science, Hochschule Ravens-burg-Weingarten*, DOI: 10.13140/RG.2.2.26459.87843, 2017.

[8] C.Hirt, M.Zank, A.Kunz. Preliminary Environment Mapping for Redirected Walking. in *Proc. of 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 2018.

[9] M.Azmandian, T.Grechkin, M.Bolas, E.Suma. The Redirected Walking Toolkit: A Unified Development Platform for Exploring Large Virtual Environments. in *Proc. of 2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR)*, 2016