

智慧型參與式動畫觀賞之控制輔助系統

Design of an Intelligent Navigation System for Participative Computer Animation

劉又萱

國立政治大學 資訊科學系
台北市指南路二段 64 號
(02)29393091 ext 62266
102703037@nccu.edu.tw

李蔡彥

國立政治大學 資訊科學系
台北市指南路二段 64 號
TEL : (02)29387642
li@nccu.edu.tw

Marc Christie

IRISA/INRIA Rennes
marc.christie@inria.fr

Hui-Yin Wu

IRISA/INRIA Rennes
hui-yin.wu@inria.fr

摘要

3D 虛擬環境是數位內容的一種應用，也是互動敘事重要的呈現平台。本研究探討如何讓體驗者在虛擬環境中觀賞動畫時，只須透過簡易操控即可了解故事內容。首先我們提出一種新穎的互動娛樂方式，稱為「參與式動畫觀賞」。這是一種允許體驗者透過控制第一人稱相機來進入故事場景，並參與互動敘事的觀賞方式。隨著故事劇情的發展，體驗者必須同時注意劇情並且移動攝影機，但這可能影響使用者對故事的沉浸感，因此我們發展出一套同時兼顧玩家自由度與故事劇情，來改善體驗品質的智慧型參與式動畫觀賞之控制輔助系統。

本系統會依據故事劇情設定與體驗者的操作，依據劇情發展自發地給予智能導航機制，讓體驗者不需要花費額外的心力再做細部的調控。我們邀請受測者進行先導性研究(pilot study)來評估系統可用性，實驗證實此系統能夠提高沉浸感並且協助體驗者看到故事關鍵劇情。

Categories and Subject Descriptors

I.3.6 [Computer Graphics]: Methodology and Techniques – Interaction Techniques

General Terms

Algorithms, Design

Keywords

Virtual Cinematography, Real-Time Camera Planning, Intelligent Navigation System, Computer Animation, Interactive Storytelling.

1. 前言

近年來科技不斷的進步，加上人們越來越追求生活品質與尋找繁忙生活的舒壓管道，互動數位敘事(Interactive Digital Storytelling, IDS)因此成為一個熱門的研究領域。隨著人工智慧(Artificial Intelligence, AI)與虛擬實境(Virtual Reality, VR)相關領域技術日漸崛起，3D 虛擬環境成為互動敘事熱門的應用平台。在互動數位敘事的系統裡，故事內容設計師撰寫腳本，再配合適當的互動方式，可以讓使用者在體驗過程中，透過即時互動產生的不同結局，進而得到比傳統遊戲更趣味、更具有變化性的互動體驗。

然而，如何在互動敘事中的描述故事與控制攝影機(化身)之間取得平衡一直是一大議題。一個理想的互動敘事系統，一方面應該允許動畫故事作者設計一些與觀眾互動的機制，

另一方面應該簡化觀眾的操作流程且操作方式直覺化，如此一來能夠讓觀眾沉浸於欣賞的故事劇情中，並擁有良好的體驗品質。

目前電腦動畫主要分為兩類，一種為完全自動化，像是沒有互動的動畫電影，另一種為完全互動的方式，像是電腦遊戲與互動敘事，允許玩家透過互動來改變場景物品與故事。而此論文中，我們採用不同於傳統的觀賞動畫方式，以「參與式」觀賞動畫，讓體驗者能夠進入故事場景中自由探索，但不與故事人物互動。我們希望體驗者能夠依照個人意願移動位置，並選擇自己喜愛的地點觀看劇情。

拍攝是一門學問，也是成就一部精彩影片的重要技巧，當同一個橋段運用不同的拍攝手法，將會帶給觀眾截然不同的視覺享受與體驗。攝影機規劃對於電腦動畫而言，更是賦予故事靈魂的關鍵，因為故事內容架構在虛擬環境中，需要藉由虛擬攝影機才能擷取畫面資訊，而且攝影機代表了故事的敘事者，擁有適當的攝影機規劃能夠清楚傳達故事劇情，讓使用者了解故事的整體內容。

目前虛擬攝影機的研究中，不論是利用第一人稱攝影機或第三人稱攝影機，著重在研究如何透過即時運算巧妙避開虛擬環境裡的障礙物，以及如何給予玩具有美感的視覺體驗。在參與式動畫中，故事並不會等待玩家定位才開演，另外體驗者通常必須在還不清楚故事情節情況下，操控攝影機的移動與旋轉，因此玩家時常會錯過故事的關鍵劇情，而無法融入在故事之中。

本研究的目標是保有體驗者自由參與觀賞動畫的能力，依據現有的 3D 虛擬場景與故事劇情，加上以故事時間軸為基礎設置的多個視角，來吸引體驗者至最佳位置。動畫設計師預先依據故事內容在故事時間軸上，設置許多關鍵事件，並設定該時間不同面向的最佳視角。當一個電腦動畫透過本系統事前設置視角後，故事體驗者只需要使用鍵盤控制第一人稱的攝影機，系統即可根據時間點與當下所在的位置，輔助體驗者移動身體及帶動角色擺頭轉向看到當下故事中的關鍵劇情。

這種系統能夠應用在需要使用者操控視角來觀看各類動畫、遊戲，甚至於虛擬實境之中。我們期望此系統能夠增加互動敘事等故事的重播率，讓體驗者能夠以不同的角度來觀賞同一部動畫。

2. 文獻探討與回顧

本節中，我們將探討與本研究相關的研究文獻。首先會介紹 3D 環境中的導航技術，來了解如何在 3D 環境中引導使用者進行各種任務。接著，我們將討論有關攝影機即時規劃的研究是如何協助設計師在 3D 虛擬場景中架設虛擬攝影機。

2.1 3D 環境導航技術

在虛擬環境中，如果一個系統要提供協助，引導攝影機前往特定觀看故事地點或是執行某些任務，此系統必須擁有一種導航機制來將用戶引導至經由即時計算或是先定義好的任務位置。此類系統不同於自動計算給定目標位置的路徑[15, 18]，而是要如何根據用戶的操作，給予對應的導航協助。目前已經有一些相關研究，主要圍繞在引導遊覽靜態景物，但我們僅關注應用在互動系統的文獻。

互動式引導用戶系統需要在目標位置上給予某種形式的吸引力，同時須避免碰撞到場景中的障礙物，力能場(potential field)已經被證實能有效解決此類問題。Hong[11]建構此種力場來計算推動用戶遠離物體邊緣並同時引導前進的力，這技術也可應用在器官內視鏡檢查。這種方法啟發了基於力能場的其他方法[3, 4]。Hanson [9]以類似方法，採用向量場(vector field)平滑化在地形表面上的輔助。

第二類方法依賴路徑規劃，避免力能場與向量場出現的局部最小值。無論是基於拓撲表示或是經由基本形狀(球體或立方體)進行常規抽樣，規劃路徑前必須先擁有 3D 環境的場景結構，才能利用該形狀計算路徑。Elmqvist[7]依靠事先 3D 景觀的拆解並透過 Travel Salesman 方法找出最佳路徑，在用戶實際操控過程中，沿著找出的路徑引導用戶。Chittaro[6]將 3D 環境劃分成網格狀，並找出能帶引虛擬角色移動至目的路徑。Andujar[2]運用 3D 環境的幾何結構，以 A*計算最佳路徑。

此類導航方法能夠解決遊覽常見的問題，如避免迷失方向、避免錯過重要景點等，但這些設計都是以靜態環境為基礎([3, 4]除外)，而不是根據動態的內容做導航。

2.2 攝影機即時規劃

除了引導用戶的導航技術外，關於虛擬攝影機控制的相關研究中提出一些自動計算視角的技術來傳達 3D 動畫中發生的動態事件。He[10]是第一個探討在即時環境中攝影機自動規劃的研究，此研究透過有限狀態機(Finite State Machine)來實現攝影機的轉切，並加入了電影攝影的美學觀念。Li[12]提出一種利用電影中導演、放映師以及編輯，三種模組來決定相機配置，並摘取電影專業參數來決定呈現的樣式。Lino [14]提出一種即時攝影系統，可自動計算攝影機角度、攝影機軌跡和攝影機編輯來描繪動態故事序列，但是該用戶並不能改變系統計算後的攝影機位置。

有些系統提出基於人類運動分析的方法[1, 16]，或對社會關係做分析，像是角色之間的距離及位置[17]。後來 Galvane[8]提出了偵測諸如人群之類的複雜交互作用事件，並且利用一套藉由轉向行為驅動的攝影系統來切換視角。

有些學者也運用機器學習來根據動態劇情給予適當拍攝角度。Burelli[5]提出一個系統，能夠透過事前採集受測者遊玩時的取景畫面，並利用機器學習的方式歸類出 self-centered、committed、detached 三種玩家行為，針對未來不同種類的玩家，給予最適當的拍攝手法。Lima[13]提出以劇情為基礎的互動敘事系統之虛擬攝影導演，把系統分成編劇、場景設計

師、攝影師與導演，四個模組各自分工，事先透過 SVM(Support Vector Machine)學習多種拍攝手法，歸納出針對不同劇情的模組，未來透過選取對應的模組，讓系統選出最合適的呈現方式。

雖然這些方法能夠計算相關視角來描述事件，但是攝影機控制的過程中用戶並不能參與，我們認為重要的是讓用戶能夠有機會親自操控攝影機，而不是由系統完全幫用戶導航。

3. 控制輔助系統設計

在目前虛擬攝影機的研究中，第三人稱攝影機可概括分為三類，分別為固定位置(Fixed camera systems)、固定相對位置(Tracking camera systems)與互動式攝影機(Interactive camera systems)。互動式攝影機是前兩者的改良，可以動態移動且避開障礙物，像是先前提到 Burelli[5]能夠依據玩家喜好給予不同拍攝方法與 Lima[13]透過 SVM 學習出拍攝方法都是用此類攝影機。不過，先前研究雖然能夠針對不同故事計算出對應的攝影機位置，但是都不提供使用者自由選擇觀看位置的能力。

互動敘事是為敘事創作提供比傳統敘事更擬真、深刻的說故事體驗。為了讓故事體驗者能夠深入動畫故事劇本中，通常會採用第一人稱的拍攝手法，使眼前所看到的畫面就好像是自己的化身看到的景色。為了增加故事沉浸感，本研究使用改良式第一人稱的互動性攝影機，並簡化體驗者操控化身的複雜度，希望透過動畫設計師事先以故事時間軸設定的關鍵事件及候選視角，並依據體驗者當下操控化身的位置，輔助吸引化身至最接近的候選位置，順利觀看到事件的發生。

3.1 系統架構

此系統的使用者會以觀賞動畫的方式進入 3D 虛擬環境，融入於故事場景中。圖 1 為系統架構圖。

圖中綠色框部分為事前設定好的。當一位動畫設計師欲利用本系統協助體驗者有更好的視覺享受，設計師必須提供完整故事腳本及相關場景、角色模型、架設燈光音效等。系統提供輔助需要動畫設計師依據故事劇情設定「關鍵事件」，確保實際運作時體驗者能夠透過觀賞到這些事件就能了解故事走向。

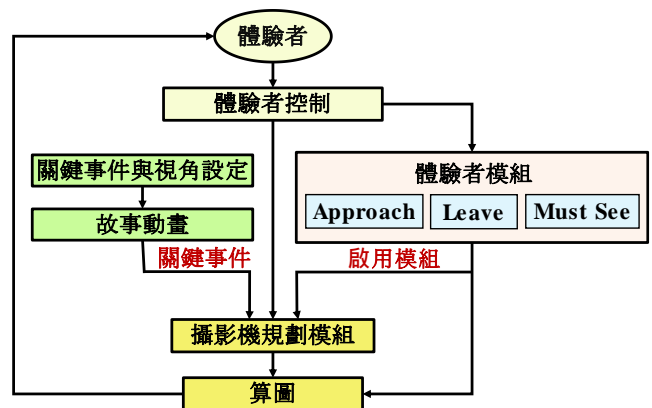


圖 1.系統架構圖

由於本系統採用第一人稱拍攝手法，螢幕看到的畫面等於體驗者化身眼睛看出去的景色，因此動畫設計師須根據關鍵事件在場景中設定多個「候選視角」，如圖 2，每個視角包含位置、角度、是否必看、以及視角作用範圍等資訊，未來

系統輔助時能夠移動攝影機至這些位置上，讓故事能夠清楚地呈現在畫面上。



圖 2.以不同候選視角觀看相同關鍵事件

體驗者使用常見的輸入模組，像是鍵盤輸入來控制第一人稱攝影機的位置移動與旋轉角度。接著使用者輸入資訊會傳遞到體驗者模組，並根據體驗者的意願選擇啟動 Approach 模組或是 Leave 模組。最後，啟用的模組會跟著體驗者輸入資訊一起送到攝影機規劃模組，計算最後攝影機的位置，達到系統輔助效果。

3.2 系統輔助

在 3D 虛擬環境中，典型的導航方式為使用者透過第一人稱攝影機代表使用者眼睛，利用上下鍵表示前進與後退，而左右鍵則為逆時鐘與順時鐘旋轉身體，當方向鍵持續按壓越久就表示位移向量或旋轉角度越大。

本系統的核心理念是「如何輔助體驗者在觀賞動畫時順利看到故事關鍵」。我們希望減低體驗者微調身體的時間，並簡化體驗者觀賞動畫時的互動流程，體驗者只需透過簡單操控化身想去的方向，讓系統接手其頭部轉動與協助化身移動，就可以輔助移動到先前動畫設計師設定的最佳視角。同時，我們依照實際人體結構設計，把化身的身體與頭部分開成兩個自由度，並設定頭部可轉動範圍，讓化身在身體移動時，頭部能夠朝向目標位置，使眼睛持續觀看故事，避免錯過精彩故事內容。

系統輔助是根據化身的座標與頭部的轉動角度，並搭配故事設定，來提供相機位置和視角的調整，幫助體驗者觀看動畫故事，以掌握發生的關鍵事件，流程圖如圖 3 所示。

當輔助功能啟動時，我們會先判斷是否還有其他故事關鍵事件。如果沒有的話，表示對於先前設計師而言，已經沒有推薦視角提供體驗故事的人欣賞，因此體驗者能夠自由控制，不受系統干涉；如果還有關鍵事件，則系統會先確認此刻是否在下個關鍵事件發生影響的時間範圍內，再計算從目前位置到最接近的候選視角(該關鍵事件的眾多候選視角之一)之間的距離，檢查是否有在影響距離範圍之內。另外，系統還會根據體驗者操控確認攝影機面對的方向，我們希望順者體驗者觀看的方向給予協助，而不是強迫他一定要到特定的視角。

對於輔助移動部分，系統會根據體驗者控制的方式與按壓時間長度來猜測他想要接近或是遠離視角，並且啟動對應的策略(Approach 與 Leave 模組)來調整系統輔助的力度。當系統啟動輔助時，如果體驗者想遵循推薦方向前進，放下化身控制權，即可讓系統接手自動移動化身，但如果體驗者欲背

道而馳，則系統會根據體驗者的控制程度，減低系統控制權。在輔助的過程中，如果目標視角在身體與頭部可旋轉角度範圍之內，系統會利用頭的自由度，盡早協助轉向該故事發生地點。最後，當關鍵事件即將發生卻發現以正常輔助速度感不到其中一個候選視角時，會啟動 Must See 模組，在故事發生前一刻會立即移動化身，確保故事體驗者能夠順利看到此畫面。

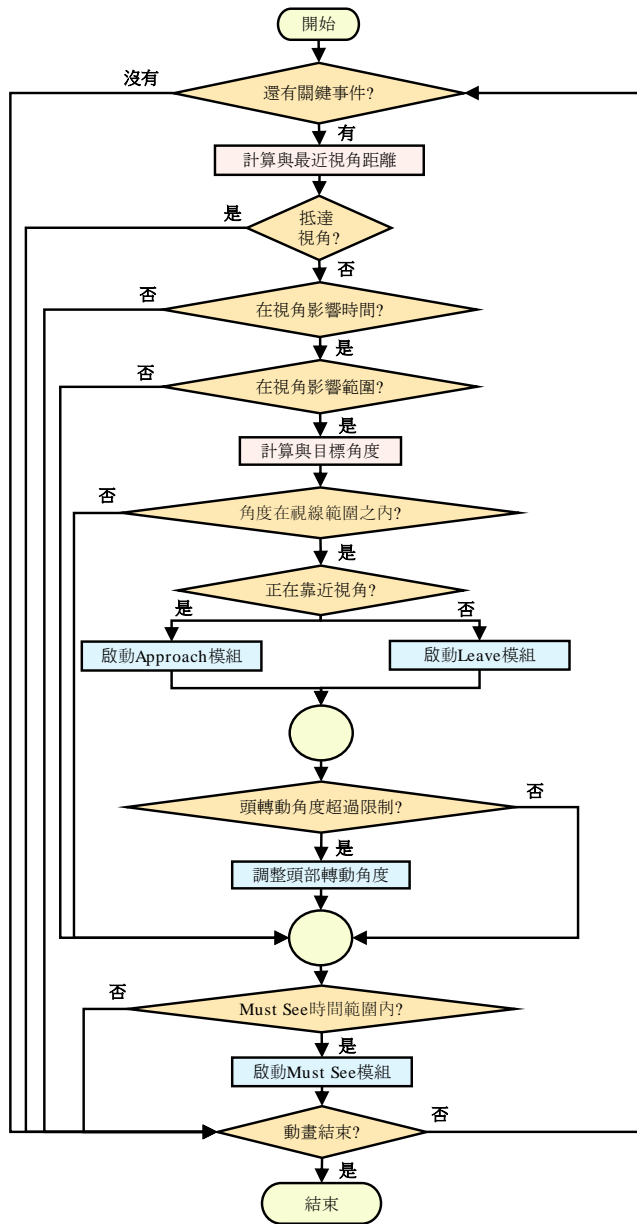


圖 3.系統輔助流程圖

我們假設攝影機目前位置(p)，其移動速度(v)會影響更新後的位置，如 $p' = p + v \times \Delta t$ 。在系統輔助之下，速度向量由使用者控制(v_u)與系統控制(v_s)組成 $v = v_u + v_s$ 。當體驗者按下上下鍵時，使用者控制的速度分量會被啟動，而且相機會沿著身體面向的方向 $u(\theta)$ 向前($\delta_p = +1$)或向後($\delta_p = -1$)移動，表示為 $v_u = \delta_p \times k_p \times u(\theta)$ 。系統控制的速度分量是希望能夠移動攝影機至目標視角，其單位向量為(u_r)，而該向量的大

小由兩個因素決定，分別為預期及時抵達目標視角的速度和根據體驗者意志決定(Approaching 或 Leaving)的係數倍率。

$$v_s = \min \left(\left(k_{s1} \times \frac{|d_r|}{t_r} \right) \times \left(1 + \delta_p \times \left(\frac{\min(b, b_{max})}{b_{max}} \right)^2 \right), v_{max} \right) \times u_r$$

預期及時抵達目標視角的速度，是透過當下到關鍵事件的剩餘時間(t_r)除以到目標視角的剩餘距離(d_r)。剩餘時間參數是由關鍵事件發生時間(t_g)減掉當下時間(t_c)，再減去透過設計師增設提早多少時間抵達目標視角的常數(k_t)，表示為 $t_r = \max(t_g - t_c - k_t, t_{min})$ 。此速度的放大倍率是由持續按壓方向鍵的時間(b)與最大按壓時間(b_{max})決定的二次函數，其放大範圍從 0 到 2，並加上一個標準值 1。啟動 Approach 或 Leave 模組時，速度會根據啟用模組乘上不同速度倍率。當方向鍵沒有被按下時，系統控制速度向量仍然會有基本速度，不至於會停下來。

攝影機旋轉的部分與先前提到位移的部分相似，預期旋轉速度會根據剩餘旋轉角度做計算，其公式為：

$$\theta' = \theta + \omega \times \Delta t$$

$$\omega = \omega_u + \omega_s$$

$$\omega_u = \delta_\theta \times k_\theta$$

$$\omega_s = \left(k_{s2} \times \frac{\alpha_r}{t_r} \right)$$

3.3 實作與介面設計

我們所採用的互動開發平台是 Unity3D，該系統不但跨平台、支援多種程式語言、並具操作便利性。圖 4 為系統圖形化介面與故事場景的截圖。我們希望體驗者能夠化身成場景中的角色時，專心觀賞動畫故事，因此介面設計理念以乾淨且不影響體驗者視覺效果為出發點，於左下角設置基本的動畫暫停與撥放按鈕，也在旁邊顯示動畫播放時間。

除此之外，使用者可以呼叫出右下角的隱藏面板，上面顯示使用者控制(黃色)與系統控制(紅色)的位移與旋轉向量，面板上會以兩種力的向量加總方式，呈現一瞬間兩者的作用力。此功能不但可以幫助設計師了解此系統如何輔助控制化身，還可以在測試的時候，讓非體驗者知道此刻是由系統接手操控還是人為操控化身。



圖 4.系統介面截圖

另外透過在場景中添加黃色的區域顯示下個關鍵事件的候選視角位置及其影響範圍，提供動畫設計師能夠清楚以圖形化方式看見先前設置的眾多視角，以利調整不如預期的視角，也能夠讓體驗者知道哪裡觀看劇情較佳。在介面中透過紅燈效果，顯示目前影響攝影機的視角(如圖 5、圖 6)。



圖 5.候選視角與其影響範圍



圖 6.系統視角提示(場景俯瞰圖)

4. 實驗評估

為了瞭解本研究設計的控制輔助功能是否能藉由將其應用於實際的動畫觀賞中，達到提供觀賞者擁有更佳的視覺體驗之目的，我們設計了一個先導性研究(pilot study)，把系統架設在一個電腦動畫中，並請六位受試者進行問卷調查與訪談，做為系統初步評估與未來改進的依據。

4.1 實驗設置

本次系統測試的 3D 虛擬環境與故事劇情參考原型為 1985 年勞勃·辛密克斯(Robert Lee Zemeckis)導演的科幻片「回到未來(Back to the future)」，電影描述主角 Marty McFly 透過搭乘 Brown 博士發明的時光車，穿越時空於過去與未來世界的故事。我們所引用的片段內容是主角回到過去，在餐廳遇到年輕時的爸爸 George，目睹 George 被餐廳店員 Goldie 欺負時約 80 秒的對話片段。圖 7 為實際電影截圖，圖 8 為我們設計的 Unity 虛擬環境場景動畫截圖。我們依據該劇情設置了 11 個關鍵事件，搭配者一共 25 個不同視角。



圖 7.「回到未來」電影片段



圖 8. Unity 中虛擬場景截圖

我們邀請了六位受測者做受試者內設計(within-subject)，實驗流程包含實驗前說明系統操作與實驗動畫內容描述、實際觀看五次動畫並填寫當次體驗問卷、最後簡單描述系統功能，並請受測者填寫整體問卷與接受深度訪談。五次實驗中的前四次會包含兩次系統提供輔助、兩次系統無提供輔助，並在受測者不知情的情況下，隨機分配次序，來抵銷每位受測者經過學習後的成效，也能夠避免有時候人總是會盲目地喜歡最後一次的結果，進而得到一個公平的實驗結果。而第五次測試會將所有視角都設定為 Must See 模組，藉由這次實驗評估 Must See 的必要性與觀眾接受度。

實驗後會對受試者做兩階段的問卷調查，並配合開放式問答及深度訪談，以了解他們對此系統的想法與建議。第一階段問卷以五點量表方式設計四個問題，像是是否有看到關鍵事件、取景是否適當等，讓受測者每次觀看動畫後針對該次體驗填寫問卷。而第二階段整體系統問卷共有十四題。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。

另外，為了了解受測者個別操控差異與行為模式，我們在實驗過程中一併記錄下完整的操作數據與系統提供的輔助歷程，以便做下階段的比較和數據分析。

4.2 問卷結果分析

我們在第一階段問卷中的四題體驗評估問題包含該次體驗是否能夠即時看到故事劇情重點、取景是否滿意、是否了解整體劇情及整體過程是否舒適，如表 1 為根據受測者每次實驗條件，整理出不同條件下各項觀賞動畫的平均值與標準差(以括弧表示)，及運用統計學的 t 檢定(一種 statistical hypothesis testing)來分別比較有無系統輔助的第一次實驗是否有顯著差異及有無系統輔助的第二次實驗是否有顯著差異，並以星號(*)表示兩者之間有顯著差異(p<0.05)。

表 1.透過不同面向評估五次實驗

實驗條件	看到重點	取景滿意	了解劇情	過程舒適
未啟動輔助 (第一次)	3.00 (1.15)	3.33 (0.94)	3.00 (0.82)	3.00 (0.82)
未啟動輔助 (第二次)	3.67 (0.75)	3.67 (0.75)	4.00 (0.00)	3.50 (0.50)
啟動輔助 (第一次)	4.17 (0.37)*	4.17 (0.37)*	4.17 (0.69)	3.83 (0.37)*
啟動輔助 (第二次)	4.17 (0.69)	4.17 (0.69)	4.17 (0.69)	4.17 (0.69)*
啟動輔助 (Must See模組)	4.83 (0.37)	4.00 (0.58)	4.33 (0.47)	2.83 (0.69)

*p<0.05

我們發現沒有啟動輔助功能的四項平均值都小於 4.00 (3.00~4.00)，而啟動輔助功能的平均值幾乎都大於 4.00，除了第一次的舒適度為 3.83。而最後一次實驗(啟用 Must See 模組)的平均都高於 4.00，除了舒適度為 2.83。儘管此實驗為盲測，但受測者都傾向系統提供輔助且第二次的結果都優於第一次。如果我們比較系統輔助下的兩次實驗平均值，可發現只有舒適度提高，表示系統輔助對於使用者第一次還不熟悉故事場景的時候會特別有幫助。不過，由數據發現受測者似乎不能接受 Must See 模組的輔助機制，受測者表示由於當快要到達關鍵事件的時間，系統會以過快的速度移動攝影機，造成視覺舒適度下降。雖然我們只有六位受測者，很難有統計上顯著的數據結果，但利用 t 檢定後發現系統有啟動輔助與沒有啟動輔助之間存在顯著的差異(p<0.05)，加上系統輔助的數據都高於未啟動輔助的數據，因此表示此系統確實能夠幫助體驗者觀看動畫。

表 2.整體系統問卷

題目	平均值	標準差
1.系統輔助控制視角時，你可完全放手讓系統輔助嗎?	4.67	0.75
2.當提供輔助時，控制視角的速度適中嗎?	4.50	0.50
3.系統輔助控制移動時，你可完全放手讓系統輔助嗎?	4.00	0.82
4.當提供輔助時，控制移動的速度適中嗎?	3.83	0.90
5.系統輔助有助你操控攝影機視角嗎?	4.33	0.47
6.系統輔助有助你觀看每一段劇情嗎?	4.50	0.50
7.系統輔助有助你了解劇情發展嗎?	4.00	0.58
8.系統輔助有助於提升觀看品質嗎?	4.33	0.47
9.相較於系統未輔助，你喜歡系統提供輔助嗎?	4.50	0.50
10.您認為此系統有發展的潛力嗎?	4.33	0.75
11.你喜歡「參與式」勝過「傳統式」來觀賞動畫嗎?	4.00	1.15
12.透過「參與式」觀賞動畫會讓你多次觀看相同動畫?	4.33	0.75
13.«參與式»比«傳統式»觀賞動畫可以提高臨場感?	4.33	0.94
14.透過「參與式」觀賞動畫能提高你對內容的喜愛?	3.83	0.37

結束所有實驗後，受測者將填寫第二階段整體系統問卷共 14 題，問卷結果如表 2。整體問卷中的一到四題用來調查體驗者是否會讓系統輔助控制攝影機與系統輔助的速度是否適中。我們發現受測者對於系統控制視角的部分表示非常滿意，並願意讓系統協助視角控制。對於系統輔助控制移動部分，有些受測者反應系統最終移動到的目的離動畫中的人物過近，希望能夠與人物保持適當的觀賞距離，因此該類受測者有時會在系統輔助時，調整化身的移動。有些受測者表示

除了第五次 Must See 模組啟動時移動過快以外，其他時候的速度是適當的，因此該項平均值小於 4，但標準差也是四題中最大。整體而言，受測者很樂意讓系統接手協助移動攝影機至最佳觀看故事的位置，由第五、六題可反映出其結果。透過系統提供輔助能讓受試者更了解故事情節，並且提高觀看品質，如問題七和八的分數所示。幾乎所有受測者都非常喜歡系統提供輔助(問題九)，且對系統未來的發展潛力都表示有高度的信心(問題十)，除了一位受測者認為參與式動畫觀賞意義不大，因為他喜歡觀看由導演規劃後呈現最完美的視角。

由於本研究是架構在「參與式」觀賞動畫的輔助機制，在本研究之前極少有人採用此類觀賞方式，讓體驗者進入故事場景中，自由的移動位置來觀看故事發展。常見動畫觀賞方式多半為「傳統式」，透過動畫設計師先前設計好攝影機拍攝方式與位置，給予最優質的拍攝角度；或是確認觀賞者抵達觀看位置才撥放動畫。而我們採用的撥放方式是動畫會持續撥放，無論觀賞者是否能看到該劇情，所以動畫觀賞者必須在對的時間點移動到對的位置才能看到故事。於是我們利用問卷中第十一到第十四題來探討「參與式」觀賞動畫的方式是否有其功效與了解觀眾的接受度程度。

第十一題反映出多數人喜歡「參與式」觀賞動畫，但有兩人反而較喜歡「傳統式」觀賞動畫，因此標準差為 1.15。受測者 D、F 比較偏向喜歡「傳統式」觀賞動畫方式，受測者 D 認為「參與式」的意義不大，不同角度觀看並不會影響到劇情發展，她提到「傳統式」不用花額外力氣就可看到最佳視角、受測者 F 認為「參與式」的方式會使她無法專心觀賞動畫與思考劇情，而且經過五次體驗後，她認為她無法良好的控制移動。而其他受測者喜愛「參與式」觀賞動畫的原因是因為像是遊戲一樣有掌控權、有參與感且可以動腦、可以與別人擁有不同的視角。由此題可知，「參與式觀賞動畫」的族群為喜愛有控制權且喜歡有變化的體驗者，而「傳統式觀賞動畫」的族群為操作上不順利或喜歡觀看最佳視角的體驗者。

無論由第十二題的平均值 4.33 或是實驗過程的紀錄，我們發現六位受測者實際上平均各有四次的觀看位置會有不同，推論出透過「參與式」觀賞動畫的方式能夠增加電腦動畫的重播價值。受測者也都同意「參與式」比「傳統式」觀賞動畫可以提高臨場感，如問題十三。然而，從第十四題的分數可發現，提高臨場感與增加重播價值並不一定會讓體驗者更喜歡動畫內容。

4.3 實驗數據分析

除了透過主觀的問卷調查外，我們也額外記錄受測者實驗時的行為模式與系統啟動輔助的相關資訊。圖 8 為使用者控制結合系統控制的實際例子，藍色線段代表使用者運用方向鍵控制攝影機的幅度與按壓時間，而橘色線段則表示系統提供輔助的幅度與作用時間。當使用者控制其攝影機進入一個候選視角的影響範圍並且控制朝向視角前進，如 7.8 秒，系統會啟動 Approach 模組，提供一個高於使用者控制的力度。即便使用者已經停止控制，系統控制會持續協助使用者移動至目標視角，除非在關鍵事件(13.2 秒)發生前已經抵達。當使用者已經進入一個候選視角的影響範圍，卻想要離開此視角，如 19 秒關鍵事件的候選視角，則會啟動 Leave 模組。期初，系統仍然會嘗試移動攝影機至目標視角，但使用者持續按壓遠離按鍵一段時間後，表示使用者愈遠離此視角的意願極大，因此系統將攝影機控制權還給使用者(17.8 秒)，讓使用者能夠順利移動至其他地點。



圖 9. 在不同模式下使用者與系統控制的例子

我們希望系統提供的控制輔助能夠針對不同的玩家操控方式，給予對應的回饋，故我們擷取六位受測者實驗中的相同片段(49-55 秒)，利用離各自目標視角距離與系統控制幅度做比較，如圖 10 與圖 11。

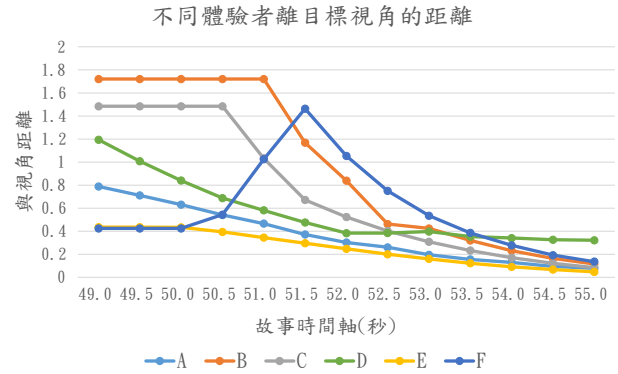


圖 10. 比較不同體驗者離目標視角的距離

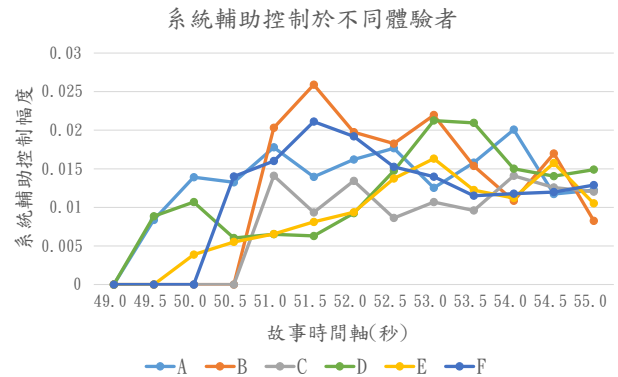


圖 11. 比較系統對於不同體驗者的輔助控制

在圖 10 的曲線之中，可看出六位受測者在 49 秒時離最近的視角距離不一且控制開始移動的時間也不同，像是受測者 A、D 在系統還沒輔助之前，已經自己操控往目標視角移動，受測者 B、C、E、F 則分別在第 51, 50.5, 50, 50 秒後移動化身，雖然不同受測者在操作上具有差異，但是透過此圖可發現在第 55 秒關鍵事件發生時，六位受測者都非常接近目標視角。

由於受測者在系統輔助時仍然會介入控制化身，加上本系統設計移動速度的公式是採用剩餘時間與剩餘距離的二次

函式，因此系統給予的速度並不會是線性。根據兩張圖的數據，我們發現其中三位受測者的行為值得探討。首先，受測者 B 原先距離目標視角最遠也是最晚開始移動，於是系統在 50.5 秒提供了一個最強的輔助力度(最大的速度)，以便及時將攝影機帶至目標位置。第二，由圖 10 可明顯發現受測者 F 的距離數據與其他受測者不同。受測者 F 起先離一個候選視角最接近，但在 50.0 秒時，他想要走向離廚師更近的另一個候選視角觀看，因此距離一直上升，直到 51.5 秒開始逐漸下降至零。第三，受測者 E 是最接近目標視角且持續朝向視角移動，因此系統提供輔助幅度為最平緩。

由以上兩個圖的探討，可得知在本系統的輔助下，能夠針對不同體驗者操作給予對應的輔助機制，使化身能夠及時看到該故事情節。

5. 結論與未來發展

本研究中，我們提出一個新穎的互動敘事系統，允許體驗者能夠自行在 3D 虛擬環境中，以觀察者的方式觀賞動畫。在本研究的智慧型參與式動畫觀賞控制輔助系統中，動畫設計師透過事前設定故事的關鍵事件以及對應的多組視角，使體驗者們只需要簡單控制，系統就可以輔助調整視角。與過去攝影機移動相關研究不同的是，我們的系統會根據故事時間軸來輔助體驗者在關鍵事件發生之前移動至良好的視角。

透過先導性研究，我們從受測者得到許多有關係系統輔助控制機制的正面回饋及參與式動畫觀賞方式的接受度。從實驗數據可看出，儘管此系統的協助無法增加觀賞者對故事的喜好度，但是相較於傳統觀賞方式，受測者喜歡參與式動畫觀賞。此方式能夠在這種被動的互動敘事系統中增加動畫的重播價值，也能夠提高故事臨場感。

在實驗問卷中我們獲得很多受測者的回饋，這些都是我們系統未來改善可以參考的方向。除了 Must See 模組，目前系統都是採用漸進式的輔助移動至目標視角，從回饋問卷得到體驗者較不喜歡 Must See 的輔助方式，因為這會造成畫面快速切換。未來我們考慮增加介面，並允許體驗者能夠選擇欲前往的視角來避免畫面跳躍。我們也希望改變關鍵事件的設定，從原本以時間點來設置改成以事件發生的區間作設定，如此將能夠使體驗者停留較長時間在視角上，也會更能夠了解故事劇情。此外，我們希望能夠讓體驗者以更積極的方式觀賞動畫，並允許在觀賞過程中可以與故事角色做互動。系統的可用性及其有效性在初步的實驗中已經證實，但我們希望根據用戶意圖與行為特徵，設計出一個使用者模型，使系統能夠更精準地輔助體驗者，成為一個可適性的智慧型參與式動畫觀賞控制輔助系統。

致謝

本研究在國科會計畫 (MOST 105-2221-E-004-011-) 及 (MOST 105-2911-I-004 -505) 資助下完成，特此致謝。

參考文獻

- [1] Assa J., Cohen-Or D., Yeh I.-C., Lee T.-Y.: Motion Overview of Human Actions. *ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2008* 27, 5 (December 2008).
- [2] Andújar C., Vázquez P., Fairén M.: Way-Finder: Guided Tours Through Complex Walkthrough Models. *Computer Graph. Forum* 23, 3 (2004), pp.499-508.
- [3] Beckhaus S.: *Dynamic Potential Fields for Guided Exploration in Virtual Environments*. PhD thesis, Fakultät für Informatik, University of Magdeburg, 2002.
- [4] Burelli P., Jhala A.: Dynamic Artificial Potential Fields for Autonomous Camera Control. *Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment* (2009).
- [5] Burelli P., Yannakakis GN.: Adapting virtual camera behavior through player modelling, *User Modeling and User-Adapted Interaction* 25 (2)(2015), pp.155-183.
- [6] Chittaro L., Ranon R., Ieronutti L.: Guiding visitors of web3d worlds through automatically generated tours. In *Proceedings of the Eighth International Conference on 3D Web Technology (New York, NY, USA, 2003)*, *Web3D '03*, ACM, pp. 27-38.
- [7] Elmqvist N., Tudoreanu M. E., Tsigas P.: Tour generation for exploration of 3D virtual environments. In *Proceedings of the 2007 ACM symposium on Virtual reality software and technology* (2007), ACM, pp. 207-210.
- [8] Galvane Q., Christie M., Ronfard R., Lim C.-K., Cani M.-P.: Steering Behaviors for Autonomous Cameras. In *ACM SIGGRAPH conference on Motion in Games* (2013), *MIG '13 Proceedings of Motion on Games*.
- [9] Hanson A., Wernert E.: Constrained 3D navigation with 2D controllers. In *IEEE Visualization* (1997), pp. 175-182.
- [10] He L., Cohen F., Salesin H., The virtual cinematographer: a paradigm for automatic real-time camera control and directing, *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1996, pp.217-224.
- [11] Hong L., Muraki S., Kaufman A., Bartz D., He T.: Virtual voyage: interactive navigation in the human colon. In *SIGGRAPH '97: Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (New York, NY, USA, 1997)*, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 27-34.
- [12] Li T.-Y., Xiao X.-Y.: An interactive camera planning system for automatic cinematographer. In *Proceedings of the 11th International Multimedia Modelling Conference (MMM'05)*, *IEEE Computer Society*, pp. 310-315.
- [13] Lima E., Pozzer C., Ornellas M., Ciarlini A., Feijó B., Furtado A.: Virtual cinematography director for interactive storytelling, in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE2009*, ACM (2009), pp. 263-270.
- [14] Lino C., Christie M., Lamarche F., Guy S., Olivier P.: A Real-time Cinematography System for Interactive 3D Environments. In *SCA '10 Proceedings of the 2010 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation (Madrid, Spain, July 2010)*, pp. 139-148.
- [15] Oskam T., Sumner R. W., Thuerey N., Gross M.: Visibility transition planning for dynamic camera control. In *Proc. SIGGRAPH/Eurographics Symp. on Computer Animation* (2009), pp. 55-65.
- [16] Yeh I.-C., Lin C.-H., Chien H.-J., Lee T.-Y.: Efficient Camera Path Planning Algorithm for Human Motion Overview. *Computer Animation and Virtual Worlds* 22, 2-3 (2011).

- [17] Yeh I.-C., Lin W.-C., Lee T.-Y., Han H.-J., Lee J., Kim M.: Social-Event-Driven Camera Control for Multicharacter Animations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18, 9 (2012).
- [18] Zancanaro M., Stock O., Alfaro I.: Using cinematic techniques in a multimedia museum guide. In *Proceedings of Museums and the Web 2003 (March 2003)*.