

電腦動畫中拍攝移動物體之虛擬攝影機自動規劃

Planning of Virtual Camera for Moving Objects in Computer Animation

鄭仲強

國立政治大學資訊科學系
台北市指南路二段 64 號
g9401@cs.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
li@nccu.edu.tw

摘要

虛擬攝影機的研究，是希望藉由傳統攝影學所累積的慣用攝影手法與專業知識，根據劇本的需求為電腦動畫中的物體，自動架設攝影機並完成拍攝過程中的攝影機控制。然而在大多數的研究中，都著重於靜態多人對話的攝影機架設，或者是對於移動物體的動態攝影機導覽。在本研究中，我們將攝影機的架設依據其任務細分為三個角色：導演、攝影師、剪輯師，並且設計出一套互動式的攝影機規劃系統，能夠在有障礙物遮蔽的環境中，對移動中的物體進行兩種拍攝手法（搖攝及追蹤）的攝影機規劃。

Categories and Subject Descriptors: H5 [Information Interfaces and Presentation]: H5.1 Multimedia Information Systems – Animations, Artificial, augmented, and virtual realities I.3 [Computer Graphics]: I.3.7 Three-Dimensional Graphics and Realism – Animation, Virtual reality.

1. 簡介

在電腦動畫的製作過程中，有別於傳統電影，我們可以將整個製作過程分散成數個子任務平行運作，例如模型製作、打光、走位、以及攝影機的擺設。當我們輸入一段劇本，攝影部門的任務便是透過選擇適當攝影拍攝手法，並且架設於正確的位置、方位來描述故事。雖然現在的科技已經可以輕易的製作電腦動畫，但是我們依舊借用過去傳統電影拍攝的攝影手法[2][12]來製作電腦動畫。

最初有關虛擬攝影師的概念是在[4][9]被提出，其研究

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Computer Graphics Workshop, July 19–20, 2006, Taipei, Taiwan.

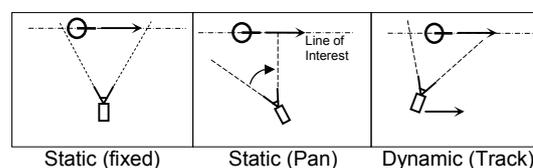


圖 1: 對移動物體的拍攝手法

是將常見的攝影手法轉化成有限狀態機的形式，藉此自動化產生攝影機的擺設，然而這種方法對於較複雜的環境，例如障礙物的遮蔽，並不能做有效的處理。有些研究[3][6][8]將攝影機架設的問題轉化成數個條件限制，藉由解決這些條件限制式來找尋攝影機架設的位置、方位，然而這樣的解決方法大多只能應用在靜態的腳本上。

在大多數的動畫腳本中，演員的行為並不會侷限在靜態或對話交談上，例如線上遊戲、動態物體追蹤或是虛擬場景導覽等虛擬環境的應用，其拍攝的對話大多是動態活動的行為，因此即時的攝影機追蹤功能也變的十分重要[1]。這些應用大多只考慮一部攝影機做追蹤攝影，由於也有即時反應的需求，因此如何保持畫面和時間的連續性[7]也是必須列入考慮的。

在這個研究中，我們嘗試對可能遭障礙物遮蔽環境中的移動物體進行攝影機規劃。對於移動中的物體，常見的攝影拍攝手法包含「搖攝 (Panning)」以及「追蹤 (Tracking)」。如圖一所示，搖攝為攝影機的座標固定不動，僅藉由拍攝方位的改變來使移動中的物體保持在拍攝畫面中；相較於單純靜止不動靜態拍攝手法，搖攝藉由鏡頭搖曳的方式增加視角，進而減少多個拍攝鏡頭的轉切(inter-cut)動作。

追蹤拍攝手法為使用三個自由度的攝影機(x, y, θ)來對行進間的物體進行追蹤。其實追蹤是機器人學中動態規劃相當常見的問題，這個技術也已經被實現在虛擬環境中動態導覽[10]的問題中。在我們的研究中，我們

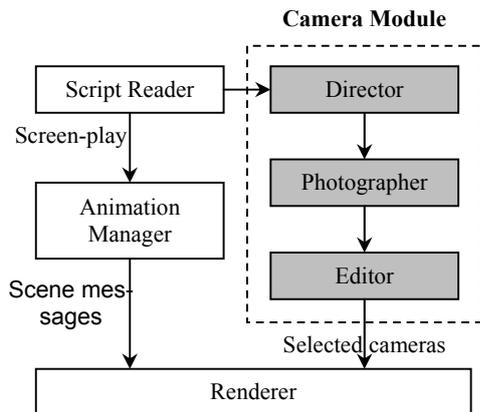


圖 2: 系統架構

嘗試將結果所得的攝影機增加一個以上，也就是在必要的狀況下，我們會使用轉切至另外一部追蹤的攝影機上，來避免受障礙阻擋等任何導致畫面品質不佳的狀況。

2. 系統概觀

2.1 問題定義

在我們的研究中，我們將問題放在單一腳色(演員)於受障礙物遮蔽的複雜環境中，行進間無對話的攝影機架設。演員的行動腳本可透過外部檔案腳本或者讀入系統中，透過腳本我們可以得知演員的移動路徑，而我們必須在這路徑上架設適當的攝影機。我們目前假設演員移動的路徑是在同一平面上，而環境中的障礙物也可以透過適當的方式投影到此平面上。攝影機規劃系統依據使用者的指定，架設動態追蹤或靜態搖攝的數個攝影機。利用這數個攝影機，我們加上適當的轉切，將演員的行動呈現在畫面上。

2.2 系統架構

在系統的設計上，如圖 2 所示，我們遵循[11]所提出的架構，將攝影機規劃系統分成「導演」、「攝影師」以及「剪輯師」等模組，各個模組的功能就如同現實生活中拍攝電影所相對應角色的任務。

導演模組首先依據使用者的指定決定攝影機的在演員行動路徑上的數量，每個攝影機有其負責片段路徑，以及各個攝影機的類型為動態或靜態；若為靜態攝影機，則必須決定出攝影機區域(Camera Area)，供攝影師模組作為架設攝影機的依據。攝影師則依據導演的指

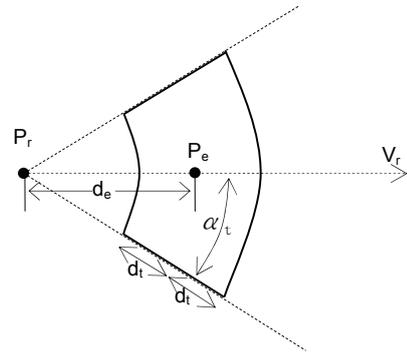


圖 3: 攝影機區域

示及環境中障礙物的狀況，在適當的位置架設靜態攝影機，或者在導演所指定的路徑上決定各種角度的動態攝影機軌跡。最後，剪輯師則根據所得的影像根據劇本及動畫的流暢性，進行畫面轉切的任務。

如此一來各層模組的任務便能有很清楚的分工且各自獨立，使用者也能藉由其真實生活上的經驗快速熟悉這套系統。此外，為了達到客製化的目的，我們也將攝影手法的偏好，設計成使用者可以實驗調整的參數，以使設計出的攝影機運動更具多樣性，並能將個人偏好從一個場景帶到另一個場景，增加設計的可攜性。

3. 智慧型攝影機控制模組的設計

3.1 搖攝 (Panning) 的攝影機規劃

對於靜態攝影機的規劃，導演會先根據演員的移動路徑作分析，初略決定適當的攝影機數量，進而決定各個攝影機的位置。目前我們以路徑的長度 L_{path} 作為決定攝影機數量的主要依據。假定每個攝影機可拍攝的最小範圍為 L_{Min} ，則攝影機個數為 $N_{Cam} = \left\lceil \frac{L_{path}}{L_{Min}} \right\rceil$ 。由此我們可將整條路徑分割成 N_{Cam} 個線段，並以線段頭尾的連線作為 Line of Interest (LOI)。根據攝影學的原則，攝影機與攝影機之間的轉切必須要在此線的同一側，才能維持演員在畫面上的相對位置，否則將會造成畫面跳躍(Jump)的現象，這種現象容易導致觀眾對與方向產生錯亂感。

3.1.1 搖攝的導播模組設計

有了 LOI 的設定後，導演模組便可以它做為架設攝影機的依據。以 LOI 線段的中心做為參考點 P_r ，並根據攝影機的位置決定方位 V_r 。這兩個參數定義了之後，便能透過以下三個限制參數找出攝影機區域：預期距

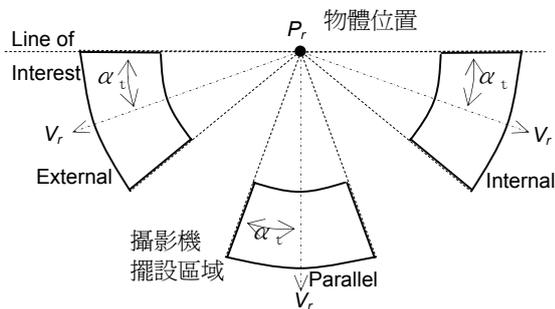


圖 4: 攝影機區域相對於目標物的不同位置架設位置

離(圖 3 之 d_e)、距離容忍度(圖 3 之 d_i)以及角度容忍度(圖 3 之 α_i)。

攝影機根據 LOI 有三種架設位置：Internal、External 以及 Parallel。因此當我們在架設攝影機區域時，以不跨越 LOI 為原則，也可以有三種攝影機區域的方位。如圖 4，當攝影機架設方位為 Internal 或 External 時，則攝影機區域方位與 LOI 夾角 α_i ；若為 Parallel，則攝影機區域的方位與 LOI 互相垂直於參考點。導演會根據 LOI 同時架設三種位置的攝影機區域，到了剪輯師階段才會作選用的決定。

3.1.2 搖攝的攝影師模組設計

當導演決定了攝影機區域之後，攝影師便能夠依照自己的專業以及偏好去架設攝影機，唯獨不能超出這個攝影機區域之外，以及不能架設在障礙物內。此外，攝影機亦受到以下兩個軟性限制的規範：「位置期望率」及「不被阻擋率」。我們以這兩個限制以及使用者所輸入的權重作為找尋攝影機最佳設定的準則。

位置期望率 E ：即實際攝影機位置與理想位置的差距。當導演不考慮距離容忍度與角度容忍度時，則攝影機區域會是一個點，該點則為理想攝影機位置，離該點愈遠，則相對的位置期望率愈低。

不被阻擋率 U ：攝影機是否可以完整的拍攝到路徑上的目標物而不受障礙物的遮蔽。我們假設對物體在路徑 r 中的某一位置 p_i 而言，其是否無為障礙物遮蔽，可透過一個布林的無遮蔽函數 $O(p_i)$ 表示，若攝影機與目標物的連線間無障礙物的阻擋，其值為 1；反之則為 0。由此我們可以得到 $U = \frac{\sum O(p_i)}{|r|}$ 。

有了以上兩個限制經正規化的分數後，我們再依據使用者給予的權重(w_e, w_u)，計算出攝影機在許可區域內每個位置的分數 $S_{loc} = w_e \cdot E + w_u \cdot U$ ，如圖 5 所示。接

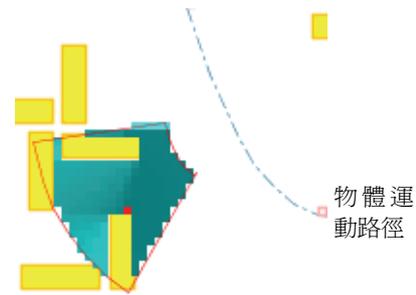


圖 5: 紅色線段所組成的扇形區域為攝影機可架設之區域。區域內顏色愈深之部分代表越適合架設攝影機。

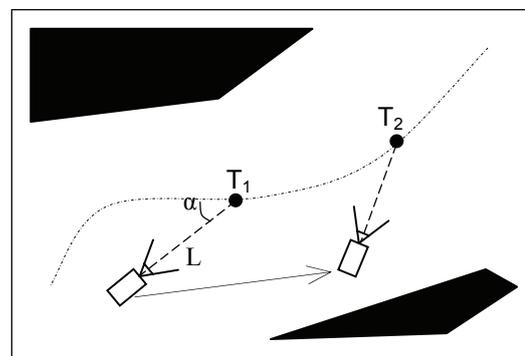


圖 6: 動態攝影機之組態

著我們從中挑選出分數最高的位置，作為攝影機的設置地點，交付給剪輯師做進一步的選擇。

3.1.3 搖攝的剪輯師模組設計

當路徑上所有的攝影機架設完畢之後，最後一個階段就是交由剪輯師選擇適當的攝影機來拍攝畫面。根據 3.1.1 節的說明，每個單位時間內的攝影機至多有三個，因此剪輯師模組在靜態攝影機規劃中的任務較為單純，主要的工作便是在這些攝影位置上選取最佳的一個，並在物體移動過程中負責不同攝影機之間的轉切。

3.2 跟蹤 (Tracking) 的攝影機規劃

當運鏡手法為動態攝影機時，有別於靜態攝影機的座標固定，攝影機規劃器必須為攝影機規劃出移動路徑。這個問題與機器人運動計畫中智慧型觀察者的路徑規畫十分相似，但攝影機的數量不限只有一個。由於場景中障礙物的限制，一台攝影機所能規劃出的路徑，可能品質參差不齊。另外，長時間由同一鏡頭拍攝場景也會導致畫面趨近於單調。

為了解決此問題，我們同時規劃數組不同參數的攝影機，利用攝影機之間的轉切來促使畫面擁有更多的變化。此時導演模組的任務便是提供數組不同限制的攝影機參數供攝影機模組規劃攝影機路徑，最後剪輯師便負責決定動態攝影機之間轉切的時間點。

3.2.1 跟蹤的攝影師模組設計

在二維的空間中，攝影機的組態為 (x, y, θ) ，因此當我們對於一個已知移動軌跡的路徑做搜尋時，搜尋空間會是 (x, y, θ, t) 的四維空間。為了增快搜尋速度，我們假設人物必然會出現在畫面中央，換而言之攝影機會是正對著目標，如此一來攝影機的組態便可省略 θ 。此外為了計算的方便，我們將攝影機之座標以相對於目標的方式來表示： (L, α) ，如圖 6 所示。 L 為攝影機與目標物的距離， α 為攝影機方位(orientation)與目標物 LOI 之間的夾角。因此，我們計畫的搜尋空間可以化簡為 (L, α, t) 三維空間。

在搜尋的過程中，我們採用最佳優先搜尋 (Best-First Search) 的策略進行搜尋，並且以攝影機與目標物夾角和期望夾角之差 α_d ，攝影機與目標的實際距離與期望距離之差 L_d ，以及與上個時間單位攝影機之距離 P_d ，加上適當的權重，作為搜尋的優先權 H (heuristic)，如式一所示。

$$H = W_\alpha \cdot \alpha_d + W_L \cdot L_d + W_p \cdot P_d \quad (1)$$

3.2.2 跟蹤的剪輯師模組設計

攝影師模組依照導演模組的指示，根據不同的參數產生數條攝影機軌跡。我們可以挑選任一條攝影機來呈現畫面，但是僅使用一部攝影機會導致畫面過於單調，因此在電影的拍攝過程中我們鮮少會看到這樣狀況。此外，由於場景的限制，因此會導致攝影師模組所產生的攝影機軌跡會有片段的品質較差。為了解決以上的問題，我們使用攝影學中轉切的技巧，在數部攝影機之間做切換，使其輪流拍攝目標。因此剪輯師模組的任務便是在攝影師模組所產生的數條攝影機軌跡中，決定轉切的時間點，以及要轉切至何部攝影機上。

我們將攝影機轉切的問題轉化成動態規劃搜尋的問題，其組態為 (N_{cam}, Q, T_{con}) 的三維空間， N_{cam} 代表目前所使用攝影機編號， Q 為目前攝影機所得的畫面品質， T_{con} 為目前該編號的攝影機所使用的持續時間。而在最佳優先的搜尋過程中，我們所採用的優先權為：

$$H = W_q \cdot Q_d + W_t \cdot (T_i - T_{con})$$

其中， Q_d 為攝影機畫面品質與使用者所期望之品質的差， T_i 為攝影機理想中應持續的時間， T_{con} 為目前攝影

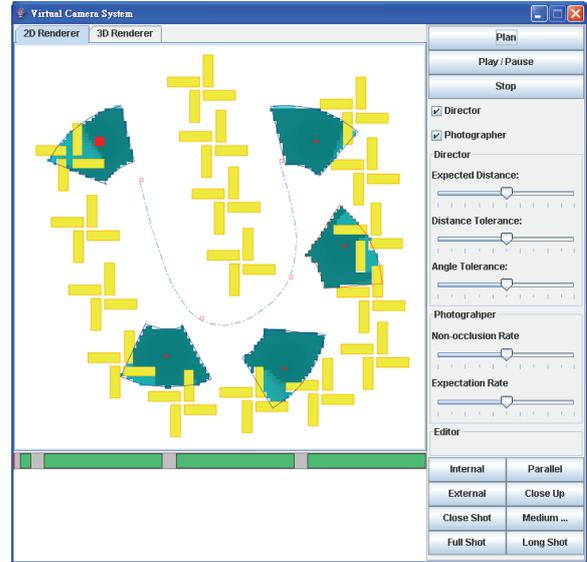


圖 7: 實驗攝影機規劃的圖形化人機介面

機所已持續使用的時間。當我們剛轉切到一部新的攝影機身上時， $(T_i - T_{con})$ 較大，使得我們對該攝影機有較大的優先權；若該攝影機已持續使用一段時間，則 $(T_i - T_{con})$ 會逐漸變小，甚至為負，導致優先權 H 下降。當我們在最佳優先搜尋的過程中，若發現有其他編號的攝影機組態，其優先權高過目前的攝影機，便可以啟動“轉切”的機制，將畫面轉由另外一部攝影機拍攝。

4. 實做與實驗結果

4.1 系統實做

我們以 Java 語言實際作出上述攝影機規劃系統。系統的輸入是環境的設定（如障礙物形狀及位置）、各模組偏好的設定值及被拍攝物體的移動軌跡。演員的移動軌跡除了可透過腳本檔案輸入外，亦可直接透過圖形介面更改。系統會即時地輸出規畫結果的 2D 俯視圖，如果系統產生的結果不是使用者所期望的，使用者可以調整各模組的參數直到符合自己的風格為止。此互動式圖形化介面如圖 7 所示。

4.2 搖攝攝影機規劃實驗結果

首先我們對移動中的演員進行靜態搖攝的攝影機規劃，如圖 8 所示。淺藍色線段為演員的行進路線，黃色多邊形為場景中的障礙物，攝影機架設的過程中可能會受到這些障礙物的阻礙。在個實驗中，演員行徑的

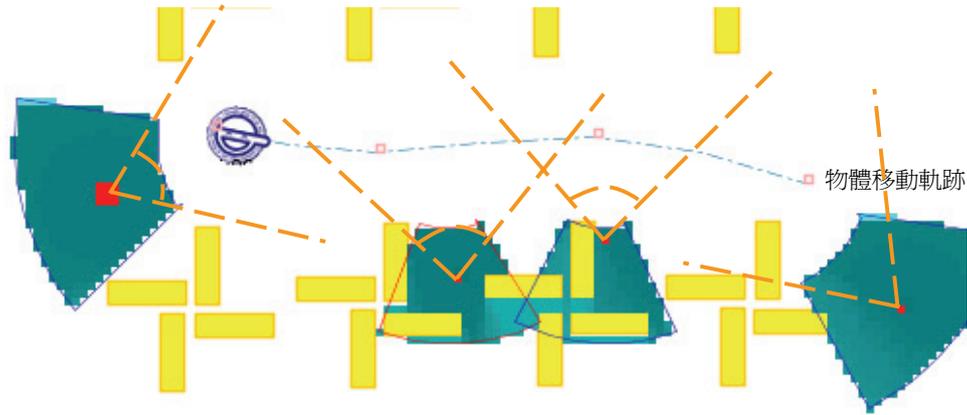


圖 8: 搖攝手法(Panning)規劃結果的例子。由左而右為 Internal, Parallel, Parallel, External 四種經剪輯師模組所選定的攝影機區域(扇形區域), 以及其相對的攝影機位置(扇形區域內的紅點), 橘色線段所包括的範圍為各個攝影機的視野。

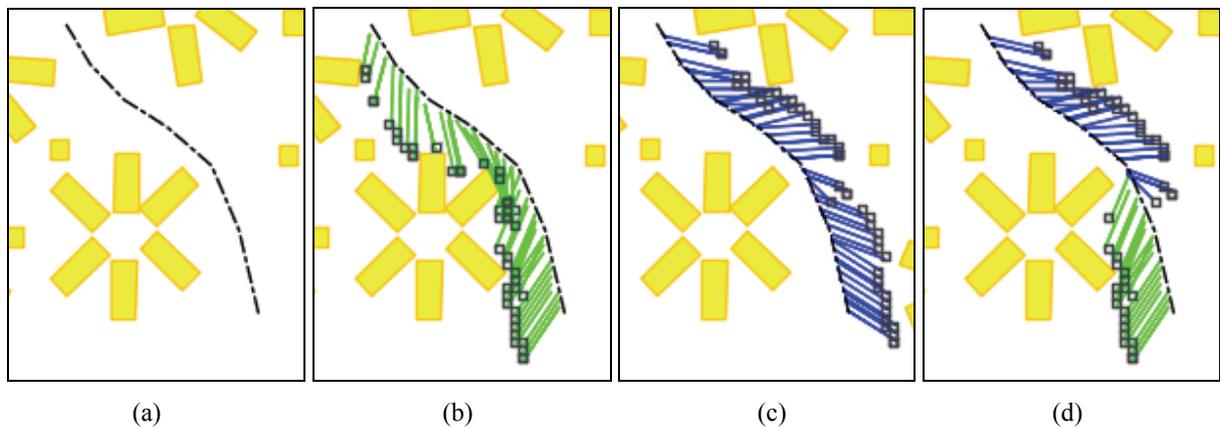


圖 9: 跟蹤攝影手法(Tracking)規劃結果的例子

路線首先被導演模組切割成爲四個段落；隨後在攝影機模組的部份，皆對每個段落的路徑規畫 Internal, Parallel, External 三種相對於目標物的不同架設位置之攝影機區域。最後在剪輯師模組時，會依照每個攝影機區域所規劃的攝影機其拍設畫面的品質，挑選最佳的一個來負責拍攝該片段的路徑。這裡的四個攝影機其相對於目標物的架設位置，由左至右分別是 Internal、Parallel、Parallel、External。在目前的系統中，我們提供介面讓使用者可以設定其相對於目標物的架設位置。但在預設未指定的狀況下，系統會同時對三種不同的架設位置同時進行評估，最後挑選其攝影機之評分爲最高的攝影機區域。圖 8 中攝影機區域裡的紅點便是該攝影機區域最後會架設攝影機的區域。

我們也對移動中的演員，進行以動態追蹤的手法規劃攝影機的運動，所得的結果如圖 9 所示。首先圖 9(a)的黑色線段爲演員的行進路線，我們分別指定了相對於演員左後方 30 度以及右後方 30 度兩種角度爲主的動態追蹤攝影機，規劃模組所自動計畫出的攝影機路徑分別如圖 9(b)(c)所示，圖中方點爲攝影機位置。在圖 9(b)中，我們可以很明顯發現追蹤攝影機的路線受到環境中障礙物的限制，會使攝影師模組所規劃的攝影路徑有部分片段品質較差，過度貼近障礙物，甚至必須爲了閃避障礙物有大幅度的改變我們原先所指定的角度。在最後剪輯師模組的階段，系統會根據路徑品質不佳的狀況，轉切至另一部較合適的攝影機上，如圖 9(d)所示。

4.3 追蹤攝影機規劃實驗結果

5. 結論與未來研究

攝影機的位置的設計是電腦動畫效果呈現重要的一環。對於會移動的物體，攝影機的擺設是一項十分繁瑣耗時的工作。本論文中，我們將攝影機的架設依據其任務細分為三個角色：導演、攝影師、剪輯師，並且設計出一套自動計畫的系統，能夠在有障礙物遮蔽的環境中，對移動中的物體做攝影機規劃。未來我們將對這兩種攝影機控制方式進行整合規劃，由系統自動選擇適當的拍攝手法，甚至在移動過程中能切換不同的攝影方式。另外，我們也計畫將此攝影機規劃模組與 3D 虛擬環境系統結合，以在 3D 瀏覽器中預覽攝影機規劃的結果。

6. 致謝

此研究在國科會 NSC 94-2213-E-004-006 計畫的支助下完成，特此致謝。

參考文獻

- [1] Amerson D., and Kime S. *Real-time Cinematic Camera Control for Interactive Narratives*. In Proc. of the AAAI Spring Symp. on Artificial Intelligence and Interactive Entertainment, CA, 2001.
- [2] Arijon D. *Grammar of Film Language*. Communication Art Books, Hastings House, New York, 1976.
- [3] Bare W.H., Thainimit S., and McDermott S. *A Model for Constraint-Based Camera Planning*. In Proc. of the 2000 AAAI Symp., AAAI Press, 2000.
- [4] Christianson D. B., Anderson S. E., He L. W., Salesin D. H., Weld D. S., And Cohen M. F. *Declarative Camera Control for Automatic Cinematography*. In Proc. of the Thirteenth National Conf. on Artificial Intelligence, 1996.
- [5] Drucker S., and Zeltzer D. *CamDroid: A System for Implementing Intelligent Camera Control*. In Proc. of the 1995 Symp. on Interactive 3D Graphics, 1995.
- [6] Friedman D., and Feldman Y. *Knowledge-Based Formalization of Cinematic Expression and its Application to Animation*. In Proc. of Eurographics, Saarbrucken, Germany, 1999.
- [7] Halper N., Helbing R., and Strothotte T. *A Camera Engine for Computer Games: Managing the Trade-Off Between Constraint Satisfaction and Frame Coherence*. In Proc. of Eurographics, 2001.
- [8] Halper N., and Oliver P. *CAMPLAN: A Camera Planning Agent*. In Smart Graphics, Proc. of the AAAI Spring Symp., Menlo Park, 2000.
- [9] He L. W., Cohen M. F., and Salesin D. H. *The Virtual Cinematographer: A Paradigm for Automatic Real-Time Camera Control and Directing*. In SIGGRAPH 96 Proc., Computer Graphics Proc., Annual Conf. Series, 1996.
- [10] Li T.Y., Lien J.M., Chiu S.Y., and Yu T.H. *Automatically Generating Virtual Guided Tours*. In Proc. of the Computer Animation '99 Conf., 1999.
- [11] Li T.Y., and Xiao X.Y. *An Interactive Planning System for Automatic Cinematographer*. In Proc. of Eleventh Intl. Multi-Media Modeling Conf, 2005.
- [12] Thompson R. *Grammar of the Edit*. Oxford, Boston, 1993.