

## 基於 Web3D 的黃洋界戰役情境虛擬在綫教學平臺

### Online Virtual Teaching Platform for Touring Huangyangjie Battlefield Scenario based

#### Web3D

劉暢，賈金原，葛一波，閔豐亭，謝寧\*

同濟大學

\* ningxie@tongji.edu.cn

**【摘要】** 本文從近代的一場典型山地戰場出發，探究基於互聯網 3D 的特定場景的虛擬再現在教育領域的應用問題，並從虛擬系統設計、場景重建、場景管理、AI 演算法、模型輕量化、光影渲染等多個方面分析並詳細闡釋了基於 Web3D 的黃洋界戰役情境虛擬在綫教學平臺的建構。在此過程中提出了使用輕量化建模在 Web 端重建了整個 3D 戰地場景的思路，創建了基於稀疏體素化的場景管理結構，並在整個場景的實時渲染過程中改進了基於 A\* 的多源多動態 AI 演算法和基於稀疏體素化的 PSVSM 陰影演算法。

**【關鍵字】** 虛擬現實 1；虛擬教育 2；場景管理 3；輕量化模型 4；陰影演算法 5

*Abstract: This paper explore how the reconstruction of special history scenario will be applied in educational field. After investigating various virtual reality techniques such as design of virtual educational system, reconstruction of virtual scene, management of scene, AI, lightweighting for 3D model and light shadow rendering, we build Web3D online virtual teaching platform for touring Huangyanjie battlefield Scenario. During this research process, firstly, we present the solution and scheme for rebuilding the web 3D battlefield Scenario using lightweight 3D model. Secondly, we create the scene management structure based on sparse voxelization. Thirdly, we optimize A\* algorithm in AI management process and present PSVSM algorithm of Shadow Mapping based on sparse voxelization in real time rendering process.*

**Keywords:** virtual reality, virtual education, scene management, light weight 3D model, algorithm of shadow mapping

## 1. 引文

當前，傳統的教育手段特別是人文類、歷史類的教育，很難體現特定歷史場景的沉浸感、趣味性，而利用虛擬現實技術還原的特定歷史場景卻可以使相關場景高度還原，給學生設立一個高度有真實感和沉浸感的立體學習環境，並且使得學習者和所學習的特定歷史場景中的各種對象進行互動，使其全身心地投入到筆者所創建的虛擬環境當中，從而最大限度地提高學習的效率、激發學習的興趣。本文從黃洋界戰場這一兼具重要人文價值與歷史教育價值的戰場出發，探究基於互聯網 3D 的特定場景的虛擬再現在教育領域的應用問題。傳統的在綫網頁端虛擬現實技術在教育領域的應用常以多媒體數據作為主要輸入源的虛擬漫游技術為主。如對場景的關鍵位置進行拍攝，所得圖片通過 CubeMap、EnvironmentMap 等技術被映射到三維空間中 (Snively, 2006; Horry et al., 1997)，再如將攝像機代替人們的雙眼對場景全景進行移動式拍攝，最後將形成的視頻文件放在網頁端進行展示 (Deliś, Kędzierski, Fryškowska, & Wilińska, 2013) 以達到身臨其境之感。

## 2. 輕量級 3D 戰場場景與情景的虛擬再現系統設計

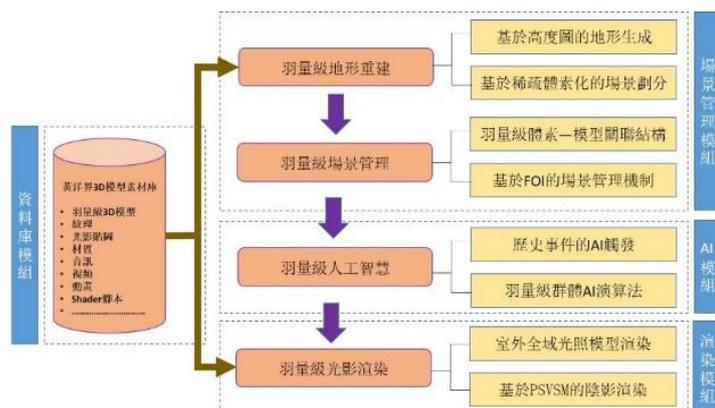


圖 1 系統的架構設計

本文涉及的 3D 戰場場景與情景的虛擬再現系統包括四大模塊，分別是：輕量級 3D 模型素材庫模塊，場景管理模塊，AI 模塊和渲染模塊。輕量級 3D 模型素材庫模塊是針對 Web 瀏覽器載入資源能力有限的特點，用輕量化建模方法專門創建的數據量輕且模型質量不降低的輕量級 3D 模型素材資源庫。場景管理模塊創建了 VOI 場景管理模式，在提高了資源載入效率的同時，增加了戰爭角色的 AI 交互的準確性。AI 模塊作為整個系統的核心模塊，設計了基於 A\* 的多源多目標動態 AI 算法。渲染模塊則對場景的光影效果進行了優化。

## 3. 輕量級戰場場景重建

### 3.1. 戰場地形重建

本文通過調取歷史資料，確定戰鬥發生的具體位置在北緯 26 度，東經 114 度，範圍約 20 平方公里的地形上。通過向相關機構申請，獲取了該地區的高度圖數據(Heightmap)和山體海拔數據。并根據高度圖演算法( $Height = (Pixel / 255) \times Altitude$ )以及常用 3D 建模技術，構建了當前該區域的三維地形。

### 3.2. 輕量級 3D 建模與使用

本文借助多年來所在團隊在輕量化建模方面的成果，以圖片、視頻幀材作為輸入數據，通過基於圖像的 3D 模型重建和基於圖像的 3D 模型規則重建的方法建立出重量級的 3D 模型，這些模型與收集的各類 3D 模型一起經過基於重用機制的輕量化處理和模型流式化處理兩個步驟存儲到輕量級 3D 模型素材庫中。其中輕量化處理的演算法核心是通過輕量級漸進式網格尋找 3D 模型中的相同部分，并使此相同部分得以流式化與重用。基於此輕量化演算法之上的 3D 模型幾乎不會被損壞，而且其存儲數據量可以得到有效減少(Wen, Xie, & Jia, 2015)。

## 4. 戰場場景管理

實時渲染的場景是由各種複雜的 3D 模型經過矩陣變換後在同一世界空間下構建而成。數據量較大的 3D 模型包含巨量的頂點個數和複雜的索引結構，如果在每次實時渲染的時候都要對這些模型的頂點資訊和索引資訊進行判斷的話，內存開銷較大，很難滿足 Web3D 的渲染需求。因此，本文提出 VOI 場景預加載策略，以解決上述問題。

由於受到網絡速度與自身內存大小的影響，在網頁端實時加載海量的場景數據比較困難。針對上訴問題，研究者陸續提出漸進式預加載策略，如 AOI (Area of Interest) (Li, Lau, & Kilis, 2004)，SMLAOI (Scalable Multi-Layer AOI) (Wang, & Jia, 2009)。

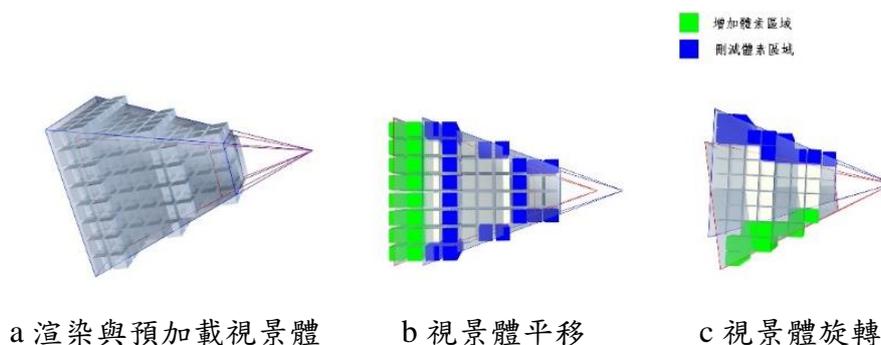


圖 2 視景體的體素增刪策略

本文提出一種針對室外複雜場景的漸進式加載策略—VOI (Voxel of Area)。如圖 5a 所示，本文將紅色菱台體視為當前視景體，將藍色菱台體視為預加載視景體。當視景體進行移動和轉動時，預加載視景體將進行體素的刪減，如圖 5 中的 b 和 c 所示。由於體素已經綁定了地形和地形上的模型，體素的增刪也就代表了與之綁定的地形網格與 3D 模型的增刪，從而實現了整個場景的漸進式動態加載。

## 5. 戰爭場景中的 AI 管理

為了在增強系統互動性的同時提升學生的參與感，學生將被設計為守方的其中一位士兵，并以士兵的視角參與到整個戰鬥場景中來，以達到寓教於樂的目的。

### 5.1. 基於歷史事件的 AI 觸發

本文根據歷史史料，從攻方開始攻擊黃洋界哨口一直到戰鬥結束的全過程，制定了整個虛擬再現系統中攻守雙方的 AI 邏輯。採用攻方人員 AI 觸發形式對一些重要的歷史細節進行詳細的表達，包括：攻方行軍時竹簽陣和壕溝的觸發；進入伏擊圈後的滾木雷石的觸發；伏擊圈內的槍擊觸發；迫擊炮攻擊觸發等，所有的觸發邏輯與效果如圖 6 所示。

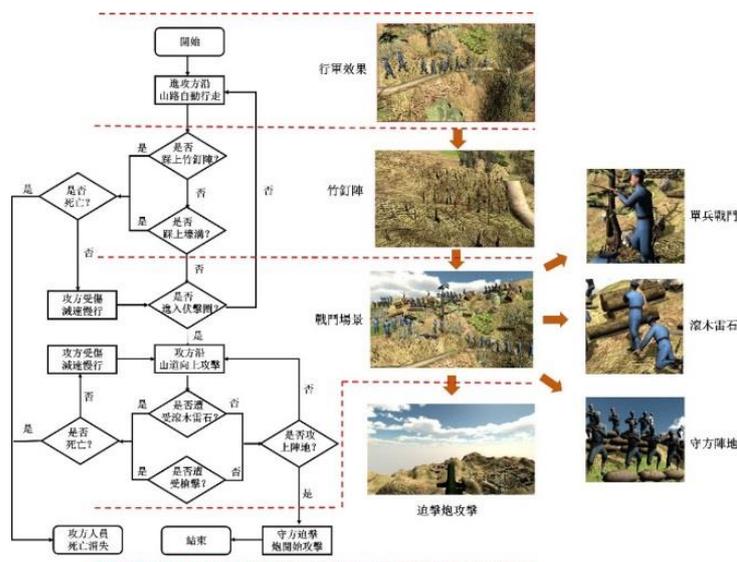


圖 3 歷史事件 AI 觸發邏輯與效果圖

### 5.2. 多源多目標的動態 AI 尋路演算法

系統基於 A\* 演算法以及場景圖的動態切換設計了一套攻方自動尋路演算法以提高遊戲難度。正如上圖所示 AI 場景圖將整個複雜的三維地形投影映射在 M\*N (M, N 均為大於等於 1 的整數) 方格組上，方格代表節點，一個節點移動到下一節點要付出一定代價，在本演算法中代價主要指代危險度，找到危險度最低的攻擊路徑是本演算法的宗旨，在 AI 場景圖中圖元

Wu, Y.-T., Chang, M., Li, B., Chan, T.-W., Kong, S. C., Lin, H.-C.-K., Chu, H.-C., Jan, M., Lee, M.-H., Dong, Y., Tse, K. H., Wong, T. L., & Li, P. (Eds.). (2016). *Conference Proceedings of the 20th Global Chinese Conference on Computers in Education 2016*. Hong Kong: The Hong Kong Institute of Education.

越低，代表越危險。本文認為在保證向山頂攻擊的時候危險度主要由兩個因素決定，首先是攻上山頂的時間，據歷史專家的表示，攻方非常擔心守方援軍的及時回防，在保證速度穩定的前提下，攻方節點到終點的最短路徑決定了耗時長短。其次，距最近防守方的距離，由於防守方的主要防禦設置在接近終點的地方，因此越接近終點越危險。當觸發滾木雷石時，將換掉場景圖，以攻方當前所在位置為起始點重新展開演算法，當滾木雷石頭落完之後又將回到首副場景圖。

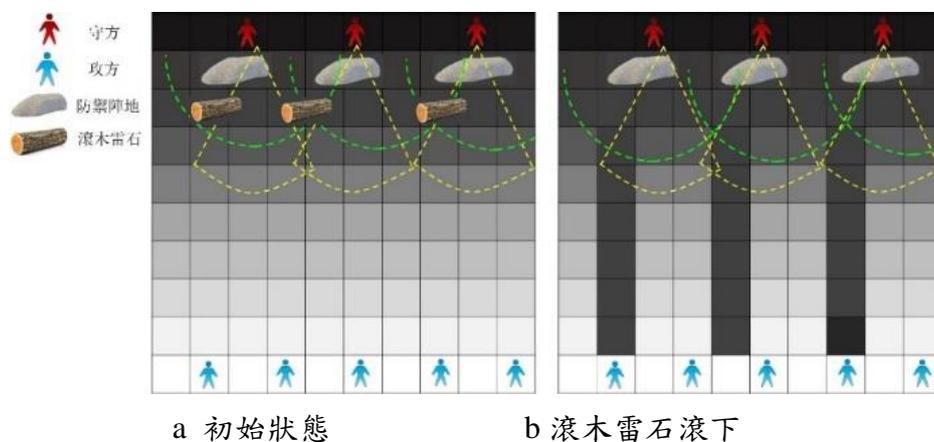


圖 4 三維場景的二維 AI 映射圖

## 6. 基於稀疏體素化輕量級光影渲染

本文所用的光影渲染技術包括：局部 Phong 光照模型渲染；半球式全域光照模型渲染；螢幕空間環境光遮罩 SSAO 渲染和 ShadowMap 陰影渲染。以上技術對於大規模室外場景的 Web 端光影渲染來說，既考慮到渲染質量的又兼顧到渲染效率。

在即時渲染過程中，對於該場景的陰影本文提出了基於稀疏體素化的 PSVSM 演算法 (Parallel-Split Variance Shadow Mapping based on sparse voxelization)。該演算法是 PSSM 演算法與 VSM 演算法的結合。本演算法的核心思路是通過在視景體的體素個數來決定劃分視景體的個數，并保證被分割的子視景體中體素個數的分配滿足從近到遠逐漸遞增的原則。



圖 5 基於 WebGL 整體效果與陰影特效對比圖

## 7. 實驗結果與性能分析

為了驗證本系統在性能方面的表現，通過三台不同配置的 PC 在 Windows 8.1 操作系統下採用 google chrome 瀏覽器對本教學系統進行了在綫測試，測試所用硬體及本系統的具體性能表現如下：

表 1 系統性能參數檢測表

配置	系統表現
----	------

名稱	處理器	內存	顯卡	刷新率	內存使用	CPU 佔有率
PC_1	Inter Core Quad CPU Q9400 2.66GHz	2.0G	NVIDIA GEFORCE GTX260	25fps	320M	27%
PC_2	Inter Core i5-M460 CPU 3.20GHz	4.0G	NVIDIA GEFORCE GT620	33fps	189M	21%
PC_3	Inter Core i7-3770 CPU 3.24GHz	4.0G	NVIDIA GEFORCE GTX760	37fps	154.9M	18%

## 8. 結論

本文從虛擬系統設計、場景重建、場景管理、AI 演算法、模型輕量化、光影渲染等多個方面分析并詳細闡釋了基於 Web3D 的黃洋界戰役情境虛擬在綫教學平臺的建構。在此過程中提出了使用輕量化建模在 Web 端重建了整個 3D 戰地場景的思路，創建了基於稀疏體素化的場景管理結構，并在整個場景的實時渲染過程中改進了基於 A\* 的多源多動態 AI 演算法和基於稀疏體素化的 PSVSM 陰影演算法。結果表明本系統運行順暢，渲染效果優良，學生互動較好。

## 參考文獻

- Deliś, P., Kędzierski, M., Fryśkowska, A., & Wilińska, M. (2013). 3D modeling of architectural objects from video data obtained with the fixed focal length lens geometry. *Geodesy and Cartography*, 62(2), 123-138.
- Horry, Y., et al.. (1997). Tour into the picture: using a spidery mesh interface to make animation from a single image. *SIGGRAPH 97, Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.: 225-232.
- Li, F. W., Lau, R. W., & Kilis, D. (2004, November). GameOD: an internet based game-on-demand framework. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 129-136). ACM.
- Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2006, July). Photo tourism: exploring photo collections in 3D. In *ACM transactions on graphics (TOG)* (Vol. 25, No. 3, pp. 835-846). ACM.
- Wang, W., & Jia, J. (2009, June). An incremental smlaoi algorithm for progressive downloading large scale webvr scenes. In *Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology* (pp. 55-60). ACM.
- Wen, L. X., Xie, N., & Jia, J. Y. (2015). Fast accessing Web3D contents using lightweight progressive meshes. *Computer Animation and Virtual Worlds*.