

專題摘要

一、 關鍵詞

DNA

Virtual Reality

3D Modeling

Scientific Visualization

二、 專題研究動機與目的

DNA 是生物中最重要的分子，涵蓋構成生物體的資訊，主導生命機能的運作。因此若 DNA 有些許異常，就可能導致嚴重的疾病，例如：唐氏症、透納氏症。從發現 DNA 的存在開始，各界對其研究的熱忱未曾消逝，至今依舊無法完全解讀其中的遺傳密碼。然而，DNA 的教學非常抽象，不管是兒時所耳聞的 DNA，亦或是國高中時期生物課本中的遺傳學章節，總是讓人難以透徹理解其行為與模式，以文字敘述的 DNA 行為並無法清楚表達其各種行為的階段性，因此我們希望深入了解它的行為與功能，進而探討一個能清楚且有效呈現 DNA 行為的方法。隨著科技迅速發展，能獲得知識的方法也越來越多元，從單純的上課聽講到網路上的資訊，或透過電腦螢幕與使用者互動，現在藉由虛擬實境與穿戴式裝置，能讓使用者擁有親身體驗的真實感，虛擬實境已成為當下最流行的風潮。一些資深的研究員如 Heinich, Molenda & Russell (1989) 認為，虛擬實境中的電腦模擬必須將真實的情境予以簡單化，只擷取其中精華部份，以求讓使用者能充分的融入情境之中。根據德州農工大學的研究顯示：若使用以虛擬實境為基礎的教材，學習效率將會有所提升[2]。在學習者得到某個知識後，便能透過虛擬實境實際操作，例如：在教完「核糖體如何讀取 RNA 訊息製造出胺基酸」後，直接操作 RNA 和核糖體，且能觀察其相互關係，學習印象就能比單純的影片觀賞還深刻。

三、 現有相關研究概況及比較

關於 DNA 之建模，論文 [3] 之研究中探討了 DNA 在 3D 空間中，不同分子、原子的實際大小與角度[圖 1]，透過 X-Ray 進行晶體實驗與計算，並由圖片與表格詳細說明原子間的鍵長與角度，此時我們發現原子半徑是受外界鍵結與引力斥力所影響，例如：就公認的晶體半徑標準凡德瓦半徑 (Van der Waals radius) 所述，碳原子 (6C) 半徑為 170 皮米，但因 DNA 中碳原子與其他原子多以共價鍵結合，而不同於其模型的方法，我們採用其平均之共價半徑 70pm (77pm(sp³), 73 pm(sp²), 69 pm(sp)) 為實作條件。

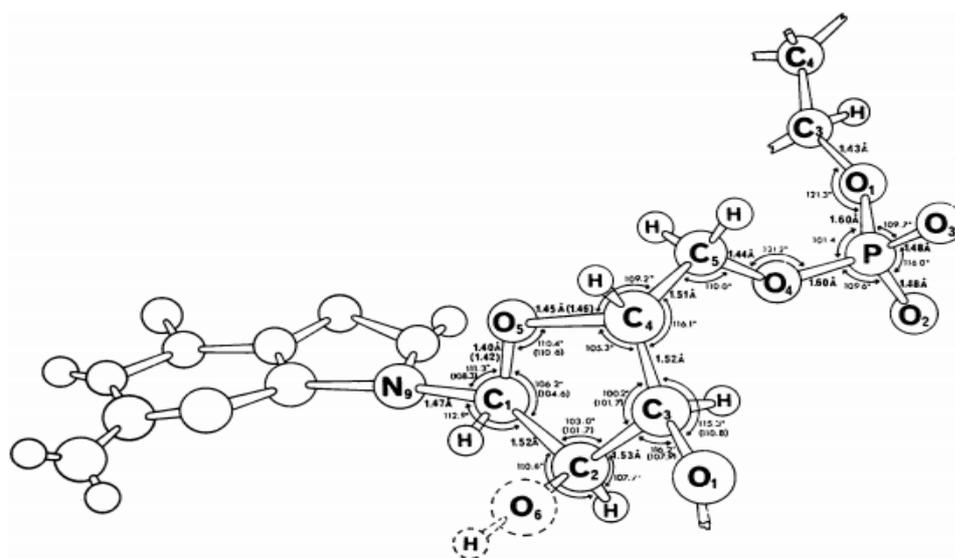
DNA 建模同時，我們也尋找有關虛擬實境與 DNA 學習相關實例[4]，此研究作者希望透過製作軟體平台，以 3D 建模實作出 DNA，並可以依照需求選擇以微觀或巨觀觀看 DNA (例如從基因或從原子大小)，提供生物學家在 DNA 觀察與互動上的便

利性。我們將其中技術與實作技巧作為建模時參考，而相異的地方在於，其注重長鍊間的序列、每層含氮鹼基的角度關係，而我們則重於 DNA 整體樣貌呈現與其反應。VR 裝置上的選擇與軟體實作技巧方面則參考 [5]，由於時間為 2016 年發表，裝置與技術與現今較為接近，此論文提供 VR 裝置的比較、Unity 操作上的說明，與 VR 裝置的介紹，使我們了解虛擬實境與 Unity 的實際應用。

此外我們也發現研究[6]，在電腦 3D 影像應用起初發展之際，DNA 從平面圖片轉化為 3D 模型也漸漸得以實現，此篇論文提供了詳細的三維空間旋轉角度與數學公式，定義了含氮鹼基之間的相對位置關係，提供了不同以往平面計算方式的 3D 立體圖形，此研究強調以 3D 方式呈現於電腦的方式，但其特別為不同種動物間的含氮鹼基序列差異與角度著墨，與我們想要簡單清楚的呈現目的相異，且其並無呈現方式 (Ex. VR) 上之探討。

對於虛擬實境與教育學習相關方面研究 [7]，此篇論文由「情境認知」的介紹著手，詳細介紹虛擬實境，而後透過使用虛擬實境作為教學工具並以問卷透過「認知易用性」、「認知有用性」、「使用意願」三項參考標準作調查，結果顯示虛擬實境確實有更佳的「情境教學」表現，而其並未針對 DNA 進行模擬研究，我們希望以與其相同的調查進行用戶研究，強調對於 DNA 認知上的差異。

論文[8]更詳細說明了台灣教育中，自國小、國中及高中的教材中的 DNA 說明比較，以及非主修生物相關科系之大學生對於 DNA 之了解，結果發現僅有 21% 之學生知道何為 DNA。此外作者亦透過使用數位媒體等輔助教材，有效提升受試者對於 DNA 的認知。此篇論文提供有效數據指出義務教育中對 DNA 說明的缺乏，以及數位輔助教材對於學習上的有效提升，但並無針對 VR 呈現上之探討。



[圖 1]

四、團隊合作方式

我們透過 Github 進行各物件 Scripts 的版本控制，再利用 Google Drive 記錄目前 Project 之進度。每一次小組討論時，會先分配上次與教授面談中記錄下之需要改進與

實作的部分，再開始實作，期間若碰到任何問題立即相約討論，每一次討論結束後會將作品合併整理。

五、設計原理、研究方法與步驟

設計原理

由於目的為希望能使使用者清楚的觀察到 DNA 之構造與反應，因此簡易的 UI 與清楚真實的模擬是最重要的考量。我們在設計物件時遵循以下原則：

1. 原子大小、鏈結長度的真實性
2. 具效率的原子相互作用（一長鍊 DNA 即有上千個原子，若無系統規劃實作可能使畫面變非常卡甚至當機）
3. 使用者的互動與自訂

研究方法

我們蒐集與「DNA」、「虛擬實境」、「穿戴式裝置的研究與應用」及「虛擬實境在教育的應用」相關的論文，探討各個論文中的 DNA 模型，使用我們覺得最適合的呈現方式。接著探討各種虛擬實境的控制器，並分析其優缺點，進而選擇出最適合的控制器。針對我們模擬的所有 DNA 動作，搭配控制器設計出可行的互動方式，再找一些試驗者操作，並依試驗者的意見修正互動介面，製作使用教學，讓使用介面更加直覺性。

研究步驟

1. 主要元件之 3D 建模

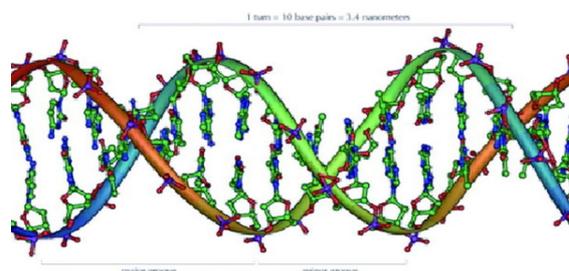
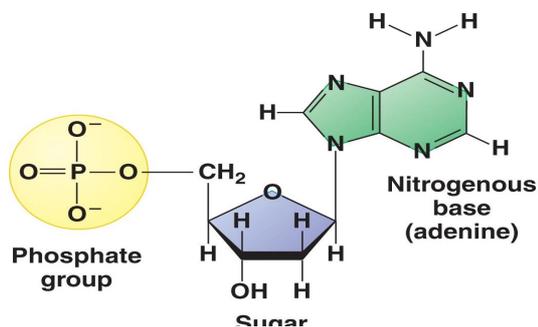
以原子為單位之 DNA 建模：DNA 為一種長鏈聚合物，在實作上每個原子間的大小與角度必須依照實際發現之比例繪製，始可製造一正確真實的 DNA 模型，然而每個磷酸基中的氧與五碳糖間具有特定角度，在建模時必須手動調整，才能使整條磷酸基鏈接上並與雙鏈中間的含氮鹼基對吻合。就理論而言，每十個鹼基對會旋轉回原始的角度（即旋轉 360 度），因此可推論出每個鹼基對間的旋轉角度為 36 度，故可以十對為一單位，以迴圈方式複製大量鹼基對形成一長鍊 DNA 聚合物。由於每個生物個體的 DNA 不同，因此我們將由亂數的方式產生 DNA 的序列。

在 Unity 中實作步驟如下：

利用 Unity Component : Joint 做原子間的互相連結。

利用 Script 與原子的連結實作原子的移動。

利用 Script 迴圈方式產生 DNA，比手動建模更加精準。



[圖 2]
DNA 結構圖

在建模初期，必須考慮到日後需使 DNA 具有與使用者互動的功能，例如：外力或酵素使雙股分解成單股螺旋，必須以鏈條為單位（即一個物件）。故每個原子、分子間必須有連結，舉例而言，磷酸基中的磷必須與其周圍的氧原子具連結，以此類推。

2. 各物體間相互作用之建立

DNA 中的遺傳指令由含氮鹼基序列組成，生物發育及維持生命機能都須藉由此鹼基序列，其中帶有蛋白質編碼的片段稱為基因。因此，為了讓 DNA 中蘊藏的大量訊息被使用，我們需要透過其他酵素，才能將 DNA 一步一步地解碼，產生基因表現。以下是我們目前所知與 DNA 相關的反應：

DNA 轉換成蛋白質：先將 DNA 轉錄成單股的 RNA，經 RNA 修飾後再轉譯成胺基酸。（圖 3）

轉錄：主要目的是將 DNA 上的遺傳資訊轉換到 mRNA 上；通常須先由 DNA 解旋酶將 DNA 的雙股螺旋解開，RNA 聚合酶才能讀取其中的鹼基序列，並找出與其互補的鹼基生成 mRNA (A→U, T→A, C→G,

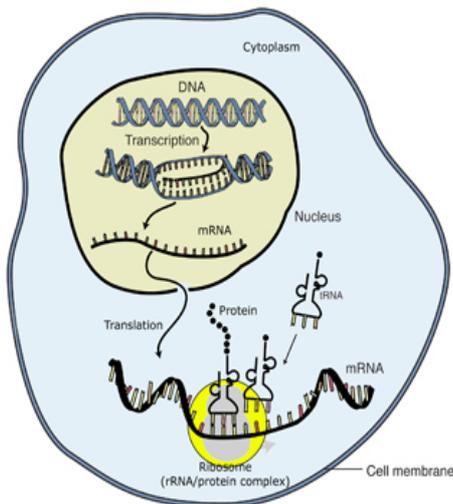
G→C)。

六、轉譯：把遺傳資訊轉換成胺基酸，是生成蛋白質的第一步。mRNA 上的序列以三個鹼基為單位稱為密碼子，遇到特定序列（啟動子，通常是 AUG）後會開始進行轉譯，主要有三個階段：起始，延長，終止；

七、起始：tRNA 會將對應的胺基酸帶至核糖體。

八、延長：tRNA 與 mRNA 的密碼子進行鹼基配對，配對成功的話，此 tRNA 攜帶的胺基酸就是密碼子所對應的胺基酸。

九、終止：上面過程一直重複直到遇到三個終結子之一(UAA, UAG, UGA)，轉譯結束。



→圖 3. DNA 轉換為蛋白質之過程示意圖

實作方式：

- 當 DNA 的兩股鹼基間的鍵結遇到 DNA 解旋酶，便會被刪除
- RNA 聚合酶讀取每個鹼基並以互補規則產生 RNA，完成轉錄
- 建立密碼子與其對應胺基酸的搜尋表格（Search table）
- tRNA 必須一次讀取三個鹼基（由第 n 個到第 n+2 個）
- 經過查表，若取得的胺基酸與表格相符就跳回步驟 d，若遇到終結子則完成轉譯

DNA 複製：主要目的為讓每個細胞內的遺傳序列都相同。DNA 必須先經由 DNA 解旋酶作用後變成單股，DNA 聚合酶會分別以兩股為模板產生 DNA，由於是以原 DNA 的一股為基準，故又稱半保留複製，DNA 連接酶將各片段連結，再把兩股結合，形成完整的 DNA 分子。（見圖 4）

實作方式：

- a. 當 DNA 的兩股鹼基間的鍵結遇到 DNA 解旋酶，便會被刪除
- b. DNA 聚合酶讀取每個鹼基並以互補的規則產生 DNA
- c. DNA 連接酶再將兩股結合，完成 DNA 複製

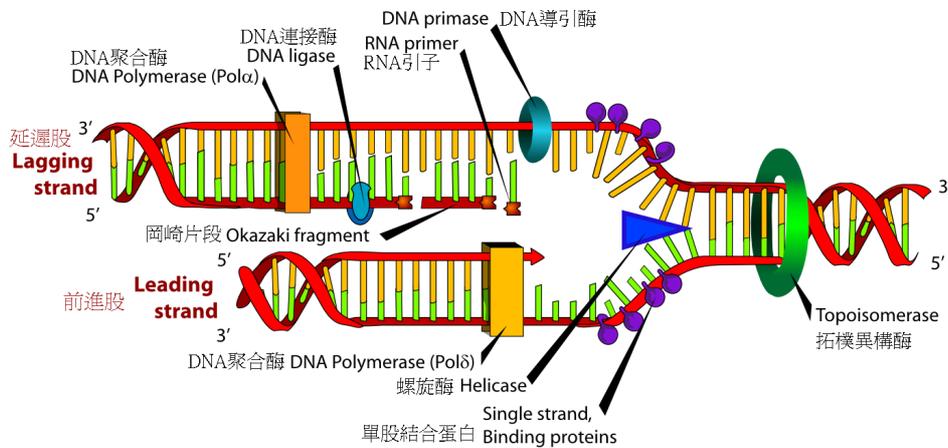


圖 4 DNA 複製之示意圖

3. 虛擬實境裝置的控制設定

此計畫主要使用的虛擬實境裝置分別為頭戴式裝置與穿戴式裝置，頭戴式裝置（HTC Vive）主要控制視角的轉換；穿戴式裝置（Leap Motion）則用來感應手部運動並與物體連動。

裝置設定：

1. 至 Asset Store 下載 SteamVR 的 Package，匯入至 Unity
2. 將 CameraRig 中的 Prefab 拉至場景
3. 設定 Camera 位置

其中需注意頭戴式裝置和穿戴式裝置主要是以 Real time 在 VR 空間的位置為基準，所以想改變位置時，需要調整整個 CameraRig。

4. 互動設計

在完成以上步驟後，不能只有單方面呈現物體的反應，還必須讓使用者產生興趣。所以在每個反應之中，我們都會盡可能設計一道道關卡，寓教於樂，讓使用者在遊戲的過程中也能了解此反應如何運作。

設計之互動：首先開啟裝置時，我們預設使用者為初次探討 DNA 及其結構，所以將從最基礎的 DNA 構造、其存在人體間的位置、其組合成分（從分子與鹼基對著手，微觀至原子組成）與大致功能.....等等，循序漸進深入至其行為、反應（包含轉錄、轉譯、複製等等），此外也會有自由探索的設計，使用者可以自由操作 DNA 中原子分子，例如：施力改變分子或螺旋鍊之位置，依照其中原子間鍵能大小決定原子受力的形變與位移。

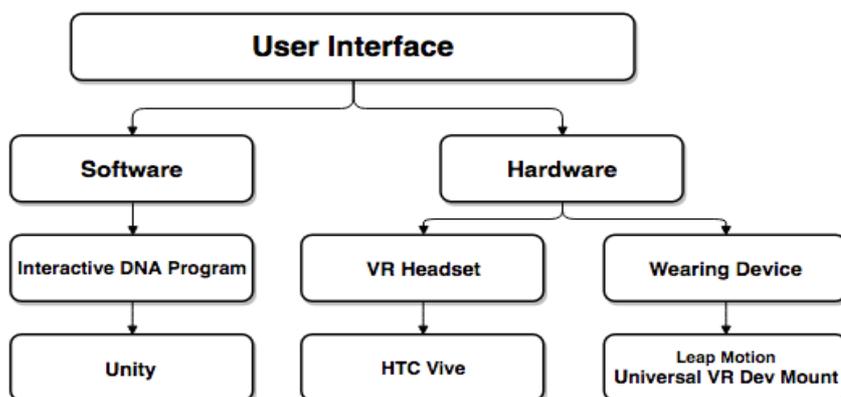
5. 建立用戶研究（User Study）

在成品完成後，我們將會建立問卷調查，提供受試者完整的軟硬體試用，並詢問

其意見與回饋，並瞭解使用者對於透過我們製作的成品來認識 DNA 跟透過傳統課本教材學習 DNA 之差別。在詢問差別時，將不告知用戶正在進行實驗調查，以避免霍桑效應（Hawthorne Effect）之產生。而在學習效果問卷部分，將採用李克特式（Likert Scale）七量表形式，受試者依自己感覺從「非常同意」、「同意」、「稍同意」、「沒有意見」、「稍不同意」、「不同意」和「非常不同意」中勾選與自己意見相符之選項，統計分別以 7 至 1 分作為計算分數。本研究為瞭解受測者個別差異對系統帶來的學習效益是否有所差異，因此利用單因子變異數（ANOVA）進行分析，其分析的項目包括：受測者的性別、DNA 學習經驗及虛擬實境操作經驗等三項，對系統的使用效益是否有顯著差異。

六、系統實現與實驗

在軟體層面，我們透過 Unity 平台建立 DNA 互動程式；在硬體層面，我們使用 HTC vive 和 Leap Motion 呈現我們的互動方式。HTC vive 控制視角，Leap Motion 感應手勢，再與 Unity 連結，完成使用者互動介面。



System Structure Architecture

七、效能評估與成果

我們使用 Unity 平台，建立基本模型，在每個物件上設定 Rigidbody（剛體）並且加上 Scripts，呈現長鏈 DNA 與其行為反應；為了讓使用者了解 DNA 內部構造，我們在 DNA 旁增加了 UI 設計，以下是我們目前的成果：

1. 建立 碳、磷等構成 DNA 的元素，並且依照原子大小，用不同顏色區隔。
2. 將每個原子設定為一個物體，並產生基本物理性質。
3. 依照各原子間的鍵長、鍵角，製作 AT、CG，鍵結以模型的方式呈現。
4. 利用 Unity Component: Fixed Joint 設置原子間物理的連結。
5. 利用亂數產生 DNA 內部構造（AT、TA、CG、GC）。
6. DNA 解旋。
7. 在 Free Play 模式中，能自由拉扯 DNA。
8. 呈現 DNA 模型時，會有 UI 介紹各個原子。
9. 游標（Camera）選定某物件時，該物件便會放大並說明。

八、 結論

由於 DNA 相對於生物非常重要，我們希望能透過此研究推廣 DNA 之教育。首先，利用 Unity 建立 DNA 雛型，搭配相應的 Scripts，完成基本的行為模擬；設計 UI，讓使用者能對 DNA 的構造一目瞭然，且能簡單的與 DNA 互動；與 VR 穿戴式裝置連結，透過 VR 手套，使用者能更自然的操縱 DNA。

使用 VR 讓 DNA 具象化對於理解其構造與反應具有良好的效益，能透過 VR 裝置近距離觀察 DNA，再增加 UI 以及軟體互動性，透過遊戲的方式獲得相關知識，藉此提升使用者的學習興趣。DNA 的組成千變萬化，造就生物的複雜性與多樣性，透過實作此專題研究，激發了我們更多關於基因密碼學的研究熱忱，並希望透過此研究能使使用者更清楚認識人體中不可或缺之元素-DNA 之構造。

九、 參考文獻

- [1] Watson J, Crick F. Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*. 1953, 171 (4356): 737-8. PMID 13054692
- [2] Zahra Merchant, Ernest T Goetz, Lauren Cifuentes, Wendy Keeney-Kennicutt, Trina J. Davis (2013) Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis.
- [3] “Least-Squares Refinement of the Crystal and Molecular Structures of DNA and RNA from X-ray Data and Standard Bond Lengths and Angles” - Struther Arnott, S.D. Dover, A. J. Wonacott - Oct, 1968
- [4] “DNA in Virtuo, Visualization and Exploration of 3D Genomic Structures” - J. Hérisson, P.-E. Gros, N. Férey, O. Magneau and R. Gherbi
- [5] “VR 互動裝置結合三維物體視覺效果探討” - 張宇德 - July, 2016
- [6] “A 3D graphical representation of DNA sequences and its application.” - Bo Liao, Kequan Ding - Dec. 2004
- [7] “3D 虛擬實境應用於醫學教育接受度之研究” - 賴崇閔(Chung-Min Lai);黃秀美(Hsiu-Mei Huang);廖述盛(Shu-Sheng Liaw);黃雯雯(Wen-Wen Huang) - 2009
- [8] “我國非主修生物大學生對 DNA 認知的瞭解與改善學習的策略探討” -湯清二- Oct, 1999