

遠端遙控顯微鏡切片教學系統

蔡哲民
崑山科技大學資訊管理系
助理教授
tjm@mail.ksut.edu.tw

傅耀賢
高雄醫學大學生物醫學
暨環境生物學系講師
m805004@kmu.edu.tw

賴峻廷、潘暉哲、曾嘉薪、林揆閱
崑山科技大學資訊管理系

摘要

本論文介紹一套具身分驗證與同步控制功能之線上顯微鏡教學系統，該系統使用 Open Source 的 Linux、Apache 以及其他自由軟體，整合 Java、C 與 PHP 等開發工具，透過 Print Port 與自製硬體控制電路控制 6 個步進馬達驅動一架改裝過的光學顯微鏡，並使用廉價的 Web-Cam 取得顯微影像。身分驗證機制是透過 PHP 連接 mail server 進行驗證，並透過 session key 與檔案鎖定來確保同一時間僅有單人可以進行線上硬體操作。為了輔助即時互動教學，系統提供參與課程的師生指標與多邊型區域圈選標示的功能；除即時互動教學外，本系統亦提供非互動教學模式，以增加教學應用之彈性。本系統同時具有自動對焦、影像擷取、玻片更換與倍率切換之功能，以供師生可更方便觀察到期望的切片影像。為了在多人使用的環境中降低使用頻寬，Client 端的系統定期監視伺服器端的顯微鏡、指標及 polygon 參數，自動判斷需要重新更新影像的時機，這樣的措施可節省上百倍的頻寬需求。此系統除可供線上教學使用，亦可適用於遠距醫療之應用。

關鍵詞：顯微影像、線上教學系統、互動教學

1. 前言

隨著網路教學風氣的盛行，各種遠距教學平台蓬勃發展，知識的傳授已不再侷限於特定的時空下進行，所包含的教學內容更從傳統以文字及公式為主體的知識，延伸至醫學顯微影像等，教材內容日趨多元。

我們以前已經製作過一套遠端遙控的顯微鏡切片教學系統[1]，雖然該系統已具備教學平台的雛型，但功能卻僅限於即時的互動教學，對於學生在課前的預習準備及課後複習方面並未多加考量；此外若授課老師未在線上時，則無法發揮該系統的教學功能，在實際教學的應用上仍嫌不足。

為了改善該系統在教學應用上的缺失，我們將以原系統為基礎，強化教學的彈性；在即時互動教學部份，除了原有的指標標示功能外，增加了影像多邊型區域的圈選功能，線上使用者可同時進行圈選的動作，使師生在系統中互動交談時更加明確便利。本系統亦增加了非互動教學功能；在非互動教學上可分為線上即時影像教學及離線預錄課程播

放兩部分。此外透過與資料庫的連結，使用者可查詢切片資訊及快速取得欲觀看的局部切片影像，有利於解決學習過程中所遇到的問題。本論文將針對上述三點來加強說明整個教學系統的製作方法，最後再對本系統的成果做一個討論。

2. 系統架構

本系統是採用 Open Source 的 Linux、Apache 系統的伺服器為基礎。硬體控制方面利用 Print Port 連接自製的 8255 電路控制 6 顆步進馬達，搭配螺桿、齒輪等機械輔助，進行倍率切換、玻片更換、自動對焦的功能。顯微影像則由 Web-Cam 接收後透過 USB Port 傳回 Server，系統架構圖如圖 1 所示，硬體結構照片如圖 2。

在伺服器端軟體部分，Web-Cam 的影像透過 Open Source 的 Motion 套件[6]將其轉換成 mjpeg 格式，再透過 mjpeg-proxygrab[7]這個 Open Source 套件轉換成瀏覽器和 PHP 可以處理的 jpeg 影像格式。硬體控制方面，我們使用 C 語言開發一組控制程式，並透過 UNIX 上 setuid 的方式取得硬體 I/O 的控制權，執行步進馬達控制。

為了縮短系統開發的時間，伺服器端大部分的程式都是藉由 PHP 這套開發工具完成；外部 I/O 透過 proc.php 呼叫 setuid 的 C 程式執行；身分驗證機制透過 auth.php 呼叫系統的 imap port 進行認證；自動對焦功能則利用 auto.php 對於 Web-Cam 取得的顯微影像進行分析，調整步進馬達來完成。

為了預備未來可以進一步將系統建置在嵌入式設備中，我們採用 PHP 內建的簡易的 SQLite[8] 作為資料庫系統，儲存相關的教材內容；而資料庫中資料存取亦經由 PHP 程式來完成。

在非同步的即時影像教學中則利用 course.php 程式提供 client 端呼叫，查詢切片物件的座標並進行玻片移動、切換倍率及播放課程錄音等功能。此外在非同步預錄課程播放部份，則透過另一組負責課程影片播放的 PHP 程式來播放使用者選取的內容。

為了提供更人性化的使用介面，且便於取得使用者的滑鼠移動資訊及預備未來可移轉到不同平台的考量，我們採用 Java 來製作 client 端的介面，並做成 application 與 applet 兩用的形式，以期讓使用者即使在沒有瀏覽器的情形下也能使用本系統。

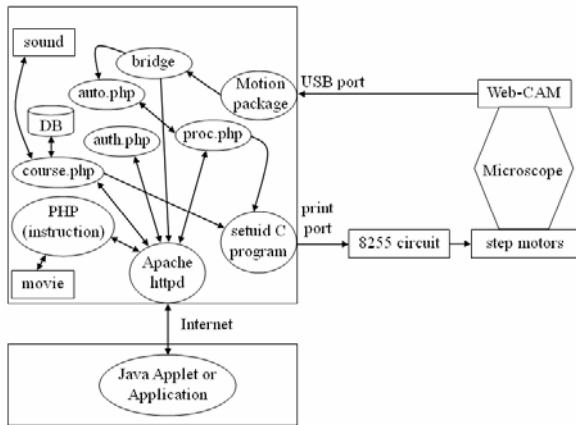


圖 1 系統架構圖

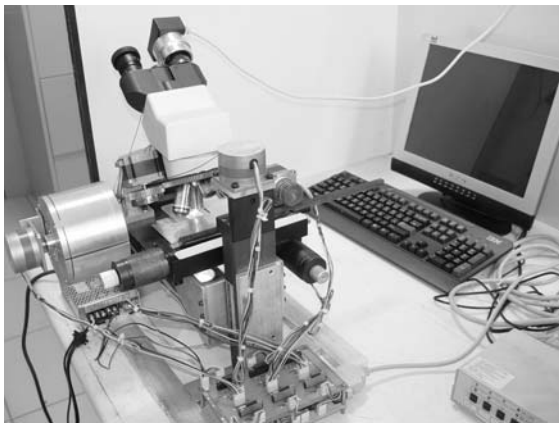


圖 2 硬體結構照片

3. 身份認證與即時互動

由於被遙控的顯微鏡僅有一部，因此必須建立適當的身分驗證機制，以確保同一時間內僅有一名使用者擁有機器的操控權；為簡化系統，我們並不自行開發密碼管理機制，而是採用 UNIX 的帳號系統來進行身分驗證。我們利用 PHP 程式開啟 mail server 的 IMAP port，當使用者輸入帳號密碼後，由 mail server 來決定驗證是否成功。若使用者於認證時，僅提出「學生身份」的要求，則認證完成後系統將單純給予 client 端認證成功的回應；若使用者於認證時提出「老師身份」（主控者身份）的要求，則系統會檢查該 id 是否符合系統內的主控者名單，並同時確認沒有其他主控者正在使用系統，則使用者方可取得主控者身份。系統給予使用者主控者身份時亦亂數產生一組 session key 回傳給 client 端的 Java 程式，做為該堂課的認證之用。認證畫面如圖 3 所示。此外 server 端使用一個 active 檔案記錄目前系統主控者的 id、session key 以及主控者最後一次動作的時間。藉由這個記錄檔我們可以確保系統中僅有唯一的主控者，此外透過操控時間的紀錄，可設定主控者的閒置時間，若閒置時間過長，

系統將強制該主控者讓出主控權，由其他主控者取而代之；此外本系統亦設計了使用者關閉視窗時自動登出的功能，避免因使用者未正常登出系統便直接關閉視窗，造成資源不當佔用的情形。

為防止有人惡意冒用主控者身份來擾亂課程進行，server 端每次處理 Java client 的要求時都會檢查 session key，此外為避免主控者連續發出兩個以上的步進馬達控制命令造成系統錯亂，server 端每次執行一個動作前都會對 active file 做寫入鎖定，直到動作完成再解除鎖定。



圖 3 系統的身份認證畫面

由於現在坊間已有許多穩定的即時語音通訊軟體輔助，甚至許多服務是免費提供，故本系統鼓勵使用者利用既有的商業軟體或免費套件，而不再另外開發語音通訊的功能。以影像為基礎的教學系統在教學過程中，師生常需要在影像上做即時的討論講解，因此標示功能佔有極重要的地位；在舊有的系統中，我們已開發了指標標示的功能，此功能是透過 Java client 程式取得使用者的滑鼠位置與動作，使用者標定目標物後，透過 PHP 程式將標示資訊傳回 server 暫存，server 端再透過 PHP 程式將該資訊發布給所有線上使用者，依照學生和老師的身份不同，標示所產生的指標也有不同顏色的區別，請參考圖 4。圖 4 中 test 是以老師身份登入，mit 是以學生身份登入。



圖 4 指標標示畫面

雖然透過滑鼠的單點標示增加了師生交談的便利性，但在教學過程中，面對不規則的圖塊區域時，若仍然僅使用單點標示則不易明確表達點取的影像，造成互動教學上的障礙；為了解決這個問題，我們在本系統中加以改進，增加了多邊型區域圈選的功能；藉由這個方式，師生間溝通互動更加容易，不再侷限於單點的物件標示，對於不規則影像區域也能輕易表達，提升教學品質。請參考圖 5。圖 5 中 test 是以老師身份登入，mit 是以學生身份登入。使用者於操作介面中點選繪圖功能，在顯微影像中以滑鼠右鍵連續點選的方式進行多邊型區域的圈選，圈選完成後將對話內容一併送出；server 端的 PHP 程式接收該筆 polygon 資訊後儲存於檔案中，並修正系統參數。當使用者察覺系統參數變後，就會進行畫面的更新動作，即顯示出最新的 polygon 訊息。

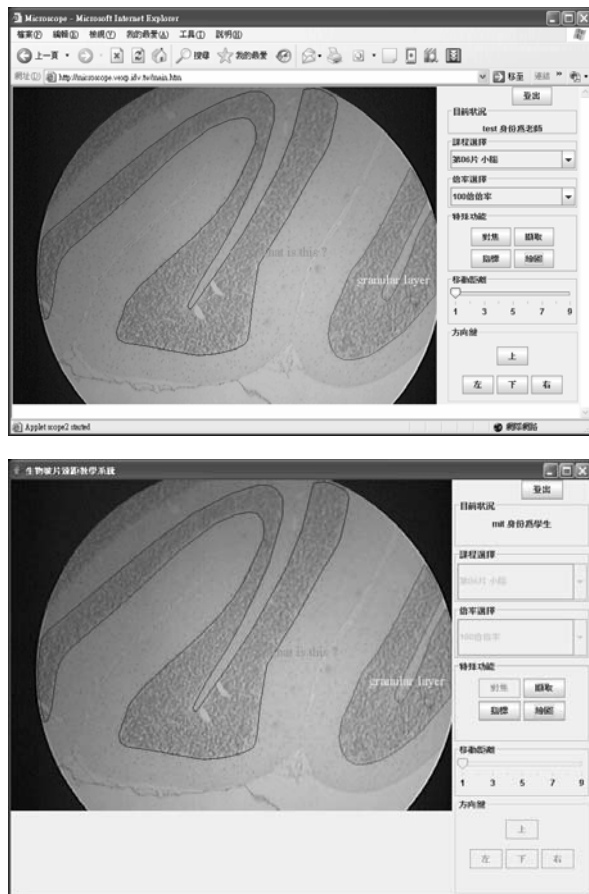


圖 5 Applet 與 Application 的 polygon 標示畫面

多邊型區域圈選除了做為即時互動教學的標示外，還可透過 Java client 呼叫 PHP 程式將 polygon 資訊傳回至 server 端的教材資料庫中儲存，以供日後切片物件查詢及教材製作使用，教材內容建立如圖 6 所示，老師可圈選畫面物件並於輸入相關資訊後將該筆資訊存入教材資料庫中。

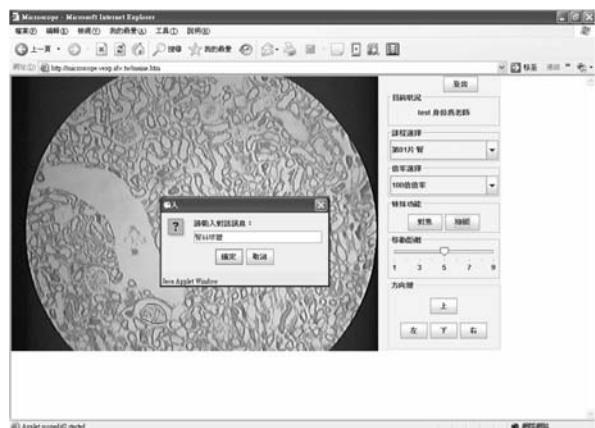


圖 6 教材輸入畫面

在網路頻寬上，本系統透過 Java client 定時監控顯微鏡移動、指標，等參數變化，當系統參數發生變動時才進行影像更新；此機制相較於以瀏覽器不斷 reload 方式更新畫面，可有效降低網路使用頻寬。

4. 非互動教學

為了強化教學品質，我們於系統中加入了非互動教學功能，而此功能又可分為預錄課程播放、即時影像教學及玻片組織查詢標示三部分。下面我們將針對這三部份進行介紹。

4.1 離線預錄課程播放教學

目前已經有許多軟體支援畫面錄影功能，我們是選用 Open Source 的 CamStudio 畫面錄影套件，將授課老師的授課內容事先錄影儲存於 server 上，當使用者選取觀看課程時，server 端的 PHP 程式根據要求進行課程影片的播放，由於此功能並未針對硬體進行操控，因此可支援多人同時觀看不同課程內容，播放畫面如圖 7 所示。

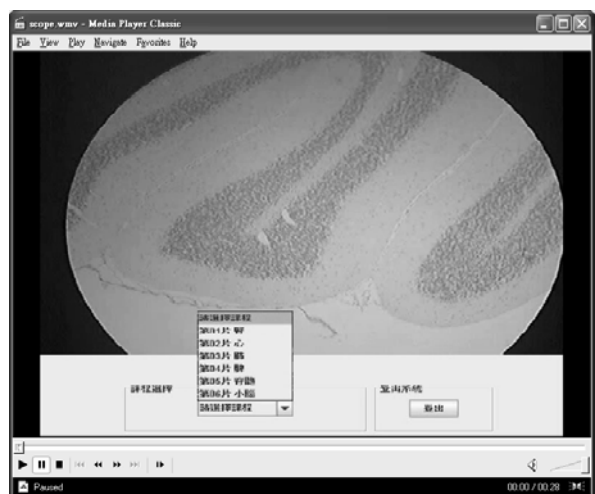


圖 7 預錄課程播放畫面

4.2 線上即時影像教學

為了避免播放影片時遇到影像格式相容性的問題，免除使用者端繁複的電腦設定與安裝工作，並增加使用者平台的選擇性，我們也製作了非同步的線上即時影像教學系統，透過 Java client 程式讀取腳本資訊、控制硬體裝置並即時取回 server 端的資源以達成類似預錄課程播放的效果。

此功能主要是將授課內容依聲音及影像分開處理；聲音方面，由授課老師將欲講授的課程內容錄音彙整存放於 server 端；影像方面，則配合課程需要，事先由教材資料庫中查出須使用的切片物件編號，查詢畫面如圖 8 所示；將查詢所得物件編號按課程進行流程依序寫入課程腳本檔。使用者欲觀看教學課程時，可從操作介面上選取課程單元，Java client 便從 server 端尋找該課程腳本檔，並依據腳本檔內所記載的物件編號透過 PHP 程式與 client 端的 Java 程式將畫面移動至物件所在區域且以 polygon 標示出該物件，進行適當的延遲，同時開始播放課程錄音，操作介面如圖 9 所示。此功能除可增加使用環境的相容性外，server 端只需存放課程腳本檔及課程錄音，同時搭配教材資料庫中所存放的切片物件資訊即可，不需花費龐大的儲存空間來存放圖片甚至是影片檔案，可降低 server 端儲存設備的需求。

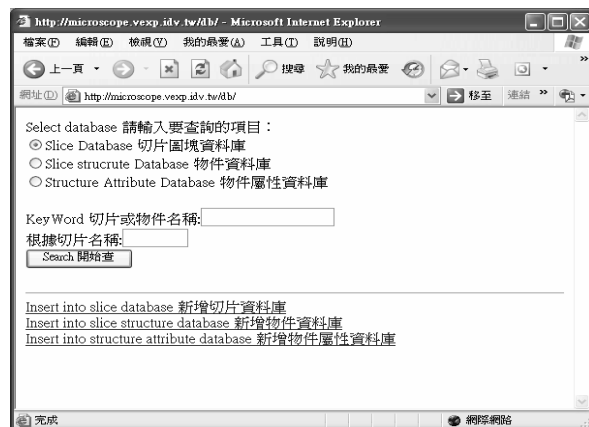


圖 8 資料庫查詢頁面

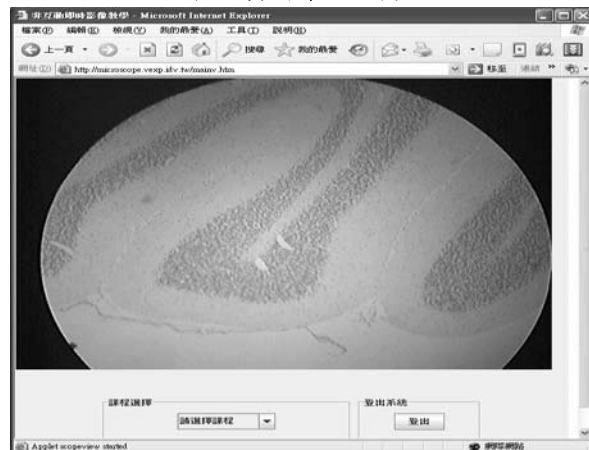


圖 9 非互動即時影像教學

4.3 玻片組織查詢標示

為了讓使用者快速取得顯微影像的資訊，解決學習過程中的問題，本系統增加了切片資料庫查詢的功能。使用者在介面中點選「查詢」的按鈕，並在顯微影像中進行點取，Java client 會將滑鼠座標資訊傳回 server 端，透過 server 端的 PHP 程式讀取目前顯微鏡平台座標與倍率參數，由物件資料庫中進行 MBR (minimum bounding rectangle, MBR) 運算[4]，初步找出符合條件的切片物件。

雖然目前已有有人發表圖形比對的演算法[3]，於 MBR 初步篩選後利用 Java client 進行 polygon 邊界運算，但由於組織切片中包含許多不規則且複雜的 polygon，故符合 MBR 條件但不被物件 polygon 包含的狀況增多，若傳回 Java client 運算比對，除造成不必要的網路流量外，也會使 client 端的處理負載加重，若 client 端使用的電腦設備較老舊或使用者透過行動裝置操作本系統，將導致反應速度過慢的結果。且因為 Web-Cam 解析度並不高，因此 server 端處理起來負荷並不重，所以本系統採用 server 端的 PHP 程式以 Pixel Based Testing [5]的方法比對物件內容，最後僅傳回單筆符合查詢條件的資訊，除可減少網路傳輸的資料量，亦可降低 client 端的運算處理負擔。

server 端的 PHP 程式將 MBR 篩選後的多筆物件資料透過繪圖函數，逐次於程式產生的白色繪圖區域中重新繪出 polygon 並以黑色填滿，依據 client 端送出的滑鼠座標，取得繪圖區域中相同座標點顏色值，檢查是否為黑色，若為黑色則表示此座標點包含於該物件中，否則繼續進行下一物件資料測試；於確認滑鼠所在位置之物件後，傳回該物件的相關資訊，client 端接收到回傳的資訊後將該物件標示在畫面中，請參考圖 10。

利用此功能使用者可透過滑鼠點選的方式快速查詢影像中的物件資訊，client 與 server 溝通也僅透過數值的交換，不包含多餘的圖像或聲音，有效節省網路頻寬。

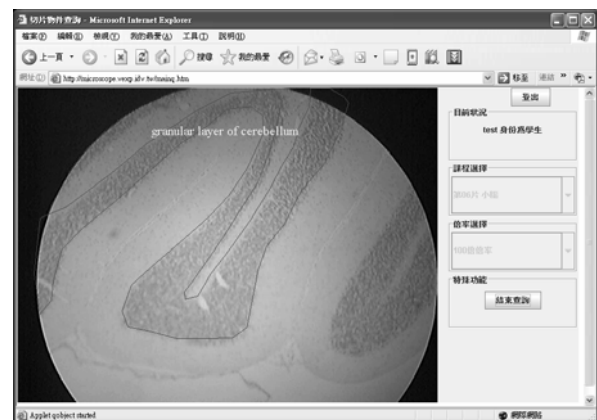


圖 10 玻片組織查詢系統畫面

5. 比較與討論

相較於現有的遙控顯微鏡系統，本系統提供了穩固的身分驗證與同步機制；在互動教學上為了增加師生溝通的便利性，除了原有的指標標示功能外，還增加了多邊型區域的圈選功能，此外亦透過 PHP 程式搭配 server 端的切片物件資料庫，建置更加完備充實的教材內容。本系統同時具備非互動教學功能；除了常見的預錄課程播放外，為提高使用平台的相容性與節省伺服器儲存空間的考量，增加了非互動即時影像的教學；透過本系統進行切片資訊的查詢，使用者可迅速獲得切片局部影像的相關資訊，因應使用情形的多元化，提升了系統在教學上的彈性。

本系統目前使用簡易的 SQLite 做為資料庫系統，有利於未來將系統轉移至嵌入式設備中，使系統建置不必侷限於特定場所或特定的電腦設備中，使系統在架設與遷移時不需花費龐大的人、物力與時間。

在切片物件查詢標示功能中，利用 PHP 程式以 Pixel Based Testing 進行 polygon 比對後，如需進行下一筆資料的比對，則必須清除目前的 polygon 圖像重新製造出一張全白的影像。我們同時試驗了「單一繪圖影像全區重新填色」、「單一繪圖影像 polygon 區域重新填色」與「多次重複產生繪圖影像」三種方法；三種方法示意圖請參考圖 11，其中黑色圖塊部分為檢驗資料時還原之 polygon 圖塊；「單一繪圖影像全區重新填色」即每次檢驗資料時，先將整張繪圖區域重新填回白色，再進行測試；「單一繪圖影像 polygon 區域重新填色」即每次檢驗資料時，先將繪圖區域中上一筆資料所產生的圖塊重新填回白色，再進行測試，如圖 11 虛線部分所示；「多次重複產生繪圖影像」即每次檢驗資料時都先重新產生一次繪圖影像；三種方式比較後發現，「單一繪圖影像全區重新填色」所花費運算時間較短，較其他兩種方式約縮短 14~30% 的時間，故採用之，以提升系統運算效能。

目前每張 jpeg 的顯微影像大約是 24300Bytes，利用本系統檢查參數更新影像的機制，相較於透過瀏覽器不斷 reload 更新畫面的作法，系統檢查的參數僅有 143Bytes，即使包含 http 表頭也僅有 169Bytes，兩者資料量約相差 145 倍，本系統對於網路頻寬的需求可大量降低，於多人同時使用的情形下，能有效降低網路流量，提升教學品質。

本研究由於經費上之限制，無法製作高重複定位精度的電控平台，因此平台在往覆運動後會造成定位上的誤差，導致影像與標示出現偏移。此問題未來可能可以透過相關的影像處理方法作進一步校正，以提升整個系統之教學品質。

除此之外，本系統透過 Web-Cam 結合雙眼顯微鏡來進行取像，而非使用顯微照相專用之三眼顯微鏡，因此無法有效去除影像的邊框及球面現象，這些問題應該可以在硬體設備改善之後獲得解決。

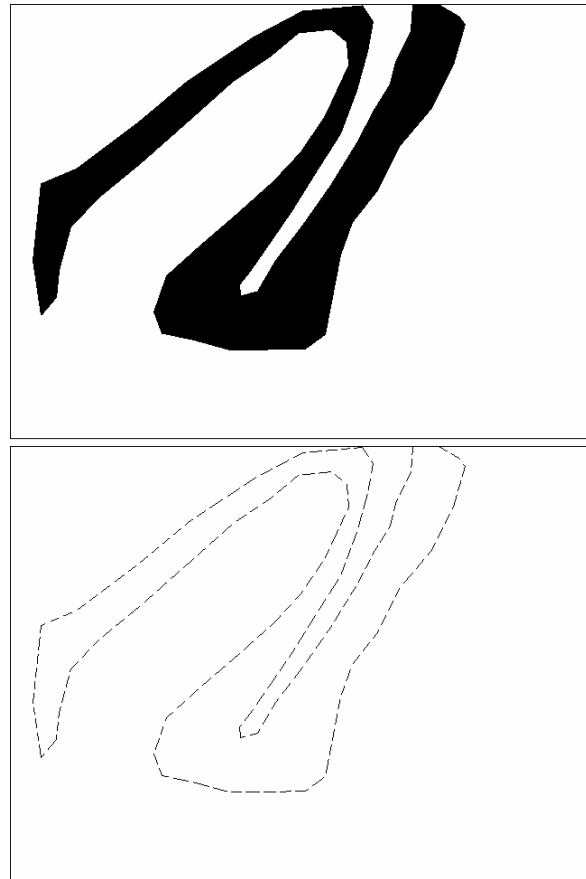


圖 11 polygon 清除示意圖

6. 結論

我們製作了一套具身分驗證、同步控制、互動及非互動教學功能的顯微影像教學系統，該系統使用 Open Source 的 Linux 作業系統及其他免費套件為基礎，搭配自製的控制電路及機械結構輔助，驅動顯微鏡及玻片標本。本系統使用了多種開發工具：利用 Java 程式語言進行使用者界面的開發，server 端則使用 PHP 程式進行身分驗證、同步處理、自動對焦、玻片更換，資料庫查詢存取等，硬體控制則使用 setuid 的 C 程式，最後透過廉價的 Web-Cam 將顯微影像傳回 client 端。本系統同時提供使用者影像標示的功能，搭配網路頻寬節省的機制，除可作為顯微影像教學平台外亦可作為遠距醫療之用。

參考文獻

- [1] 蔡哲民、傅耀賢等，「線上顯微鏡教學系統」，Proc. of 2005 數位學習研討會，屏東：國立屏東師範學院，2005.5.4, pp.282-291。
- [2] 蔡哲民、傅耀賢、蕭智祥，「一個以圖形與標示為中心的組織型態教學系統」，Proc. of ECDL2005, 台北：福華國際文教會館，2005.3.25-26。

- [3] 蕭智祥、蔡哲民，「以影像與標示為主體的遠距教學平台-以大體解剖學為例」，Proc. of TANET 2004, 台東：台東大學，2004.10.27-29, 上冊 pp.78-83。
- [4] A.Guttman. R-trees: a dynamic index structure for spatial searching. In Proceedings of ACM SIGMOD Conference on Management of Data, Boston, June 1984, pages 47 -57
- [5] Hanrahan Pat, and Haerberli Paul, "Direct WYSIWYG Painting and Texturing on 3D Shapes" Proceedings of SIGGRAPH 90, **24**(4), pp. 215-223, August 1990.
- [6] J. L. Kenneth, V. Jeroen, <http://www.lavrsen.dk/twiki/bin/view/Motion/WebHome>
- [7] J. L. Kenneth, <http://www.lavrsen.dk/twiki/bin/view/Motion/MjpegProxyGrab>
- [8] SQLite , <http://sqlite.org/>