

網路化控制實驗室之設計

吳炳煌

東南技術學院

電機工程學系

johnwu@ms15.url.com.tw

郭經華

淡江大學

資訊工程學系

chkuo@mail.tku.edu.tw

摘要

本論文將傳統控制實驗室與網際網路結合,透過網際網路的便利性與連通性,讓學生可以由遠端登入實驗室的主機,設計實驗與觀察實驗的結果。在設計實驗階段,我們設計一個類似遠端遙控 Windows 系統桌面的程式,利用這個程式直接使用該台電腦上的實習控制軟體與硬體溝通。在執行與觀察設計階段,主機將會啟動攝影機,讓使用者不只是看到該軟體的畫面,也可以看到硬體設備的影像。我們整合了模組化控制、視窗程式設計、網路傳輸、影像壓縮等技術,創造一個讓學生可以 24 小時學習設計各種控制實習設備的虛擬實習室。本論文中所提到的技術也能應用於工廠自動化的監控與遠端機械修復等。

關鍵字: PLC、網際網路、影像壓縮、網路學習

1. 簡介

即時控制系統之研究與應用已行之有年,且發展的相當成熟,不論是家庭、公司或是工廠,小至家電、大至各種大型機械,均利用即時控制系統而達成其功能。但是即時控制系統亦有受區域性影響之缺點,即時控制系統侷限於一個區域之內,而無法將多個系統予以有效的整合,系統運作情形與錯誤處置亦無法有效的利用各種傳播媒介告知遠端的使用者。

本論文將網際網路與即時控制系統結合,利用網際網路所提供的普及性,讓使用者可以在各地使用遠端的系統。本計劃將實作出一個開放介面的 Windows 系統程式,遠端的系統設計者可以任意

將系統重組,再將硬體設備端的視窗畫面發送至遠端的系統。本系統可應用於伺服控制系統(ex. VisSim、Matlab)或 PLC(Programmable Logic Controller, 可程式控制器)控制系統等場合。

PLC 實習教室是一個學習使用 PLC 控制各種自動控制設備,如機器手臂或輸送帶的環境,但是學生通常一個星期只有數小時的時間能待在實習室內,學生不但沒有足夠的時間實際參與 PLC 設計,而且實習室的教學器材在下課時間也是處於閒置狀態,資源無法達到充份利用。網際網路的普及讓學生可以選擇各種理論性教材的遠距教學,但是對於 PLC 教學設備資源的遠距實習,卻沒有合適的系統可以進行。

本論文的目的是,即在於解決這些問題,當實習室無人使用時,學生就可以預約可用的設備進行線上操作,學生可以有更多的時間可以練習實習設備的控制。

本論文所闡述的系統,包含了下列特點:

一線上資源查詢、預約、管理系統:

我們稱之為 Class Management Center,學生透過網路網路以 WEB 介面連接至實習室的主機,可以查看實習教室開放的設備與使用狀態,並且可以預約一段時間對某一設備進行遠端實習操作,如果該時段已有其它學生預約,也可以登記候補,每個設備的開放操作時間為一個小時,當學生於預約時間十分鐘內沒有上線登入,將會喪失預約資格,並把操作機會讓給其它在線上候補的學生。

一線上程式設計

我們開發一套類似 Symantec pcAnywhere 的

軟體，讓原來在單機使用的各種硬體控制程式能應用於網際網路的環境，而不需改變現有已發展成熟的這些開發程式。這套程式能讓使用者自遠端看到伺服器上控制程式的視窗畫面，猶如使用者就坐在伺服器電腦前面操作設備一樣。除了遠端遙控的功能之外，這個程式也與 Class Management Center 連線，檢查使用者的授權情形，以及防止遠端使用者做出破壞系統的行為。

一設備運作結果利用視訊即時傳輸

當實習者設計完控制邏輯，開始書寫程式與執行時，另一個視訊視窗將會彈跳出來，實習教室的設備影像將會透過網際網路即時傳輸至使用者的電腦上，使用者可以透過這個視窗看到實習教室現場的設備運作影像，更進一步了解程式實際執行結果。

在查詢階段，可以圖 1 操作流程表示，學生與 Class Management Center 連線。學生在此階段可以查詢可使用的實習設備列表及使用狀態，並可以預約/取消一段線上操作時間。而如果多人預約同一時段，也可以依預約順序開放候補。

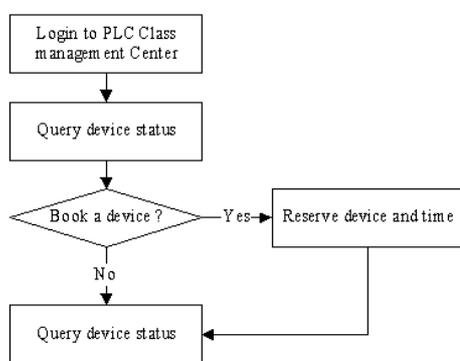


圖 1 課程查詢/預約流程

在程式設計/執行階段的程流程圖，可以圖 2 表示，在這個階段，學生與 device server 連線。學生首先由課程管理系統登入，確認身份後，再由管理首頁導向至負責該硬體的主機，進入該部主機後，學生端即可看到主機端的桌面，並且可操作該開發環境，如同就在使用該台電腦操作設備一樣。設計完之後，即可以執行所設計的程式，在執行階段，另一個設備執行的視窗也會彈跳出來，以即時視訊傳輸技術，讓學生可以看到設備執行結果。

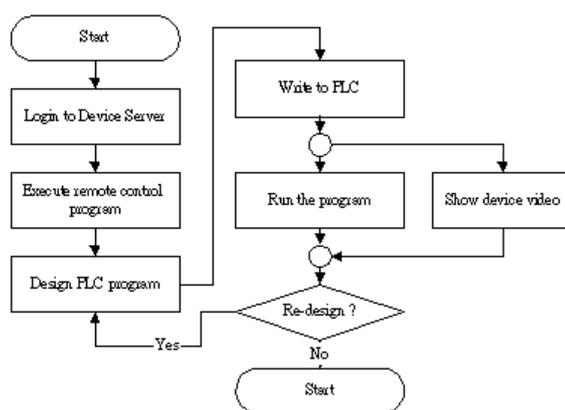


圖 2 程式設計/執行流程圖

在以下的第二節我們將介紹與遠距教學相關的資料，第三節以功能性區分本系統，分別介紹所使用的技術，我們所實作的成果展示與結論則分別位於第四節與第五節。

2. 相關系統

Windows XP 也提供遠端控制的功能，讓遠端使用者能透過網際網路登入另一台電腦，並接管所有的控制權。但是 Windows XP 所開放的功能太過強大，使用者可輕易的進行越權的操作，而且要使用這項功能，使用者與伺服器兩端均須安裝 Windows XP。Symantec pcAnywhere 提供類似的功能，但是與 Windows XP 相同地，管理者並不能有效的控制遠端連線的安全性。

由於網際網路的可延展性，為數頗多的虛擬實驗室[1][2][3]、遠距教學[4]、PLC 控制[5]與互助評量系統[6][7]等相關研究相繼被提出。然而，這些研究僅能應用於某類用途，例如，在[8]這篇論文中，作者使用 Microsoft NetMeeting 架構遠端遙控系統，可是由於 NetMeeting 本身功能性的限制，整個系統並不能有效的整合，不是一個理想的應用系統。

在[9]中，提出一個完整的電子電路模擬環境，可是這個系統無法有效的整合網際網路，只適合用來做為學生單機實習之用，無法達到遠距教學的目的。

3. 系統架構

圖 3 是本系統的架構圖，本系統可區分為兩

個部份，左邊是伺服器端，右邊是學生端，我們以功能區分為以下數小節說明之。

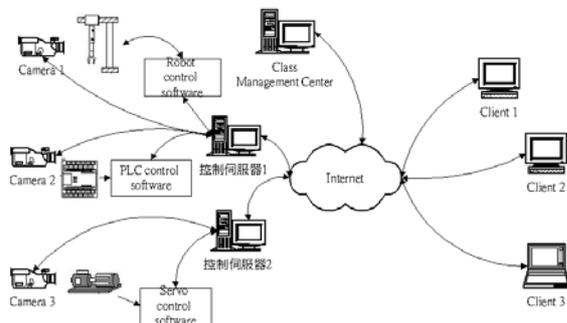


圖 3 系統架構

3.1 Class Management Center

學生與管理伺服器的互動介面以 Web 瀏覽器為主，所以課程管理系統並不是一個傳統的視窗程式，而是由 web server 所啟動的 instance，在考慮了相容性與執行效率後，我們以 CGI(Common Gateway Interface)的方式做為客戶端與管理系統的連接工具。我們以 C 語言實作 CGI 程式於 Apache 的 web server 上。

當學生登入管理系統後，可以看到目前在管理之下已開放的實習設備列表以及使用狀態，學生可以預約一個未被預約的實習設備及時段。

除了學生與管理伺服器之間互動外，控制伺服器也會與管理系統互相溝通，當學生開始一個實習課程的操作之前，控制伺服器先與管理系統連線，確認連線學生的操作權限與時限，然後再正式開始與學生的操作連線。

3.2 網路控制程式設計

一般而言，實驗室內各種實習設備之單機板的控制發展程式已經有數年的時間，均已發展成一套相當完整的套裝軟體，我們並沒有必要再開發另外一套控制程式，為了達到網路遠端遙控的目的，我們所使用的方法是開發出一套類似 Symantec pcAnywhere 的軟體，這個程式透過 TCP 與管理系統連線，確認了身份後，就可以正式與學生連線。這個程式將啟動所指定的設計程式，把控制伺服器上的設計程式的畫面透過網際網路傳送到使用者

的桌面上，而這個程式也會把學生輸入的鍵盤與滑鼠指令由學生端的電腦傳送至控制伺服器上。

藉由這個程式，我們就不再需要改寫電路設計程式，可以直接使用，只要是能在 Windows 系列下執行的開發環境，均可與本系統輕易的結合，對於系統的移植，不但具有彈性，而且學生不用再另外學習一套介面，降低學習的複雜度。

目前控制伺服器與學生端的連線採 TCP 協定，在本階段中，最重要的問題是如何有效率的傳送控制伺服器的視窗畫面影像，由於目前一般開發環境的畫面均是單色調，並不像一般自然影像具有豐富的色彩，所以使用 Run length coding 是一有效的壓縮方式，我們經過多次模擬，建立一般操作流程樣本，然後以 Huffman coding 再進一步壓縮 Run-length coding 後的資料，以達到更大的壓縮比。有關這一部份的實作結果，我們把壓縮比/網路頻寬等資料於第 4 節實作成果中討論。

由控制伺服器至學生端主要是影像資料，而自學生端至控制伺服器的主要資料則是學生的輸入，例如滑鼠的軌跡、滑鼠按鍵動作與鍵盤輸入字元等，這些資料所佔的頻寬並不高，而且時間間隔較長，並不需要對這些資料再進行壓縮，因為 TCP 是資料流的傳輸協定，我們只需定義好應用層(application layer)的通訊協定，控制伺服器端就可以了解學生所要求完成的動作。單張影像壓縮演算法可以下面表 1 的 pseudocode 簡示之。

表 1 單張影像壓縮/解壓縮虛擬碼

```

PROCEDURE CompressPicture(reference picture,
current picture)
  for(i=0;i<size;){
    {
      first, check the difference to reference buffer,
      this is pixel base
      if pixel is the same, count the number
      encode those pixels as type-1 and length
      continue to next i round
    }
    {
      second, check the same color in continuous
      pixel in new picture
      count the pixels
      encode those pixels as type-2 and color code
      and length
      continue to next i round
    }
  }

```

```

}
{
    last part, count the spatial different series
    encode those pixels as type-3, color code and
    length
}
}
}
End of PROCEDURE CompressPicture

PROCEDURE DecompressPicture(previous picture,
current picture, length of bits)
for(i=0;i<length of bits){
    if this is type-1 tag:
        copy previous picture pixels to this new
        picture with encoded length
        advance the read pointer to next tag
    if this is type-2 tag:
        copy the repeated encoded color to the new
        picture with encoded length
        advance the read pointer to next tag
    if this is type-3 tag:
        copy the encoded color pixels with length to
        new picture
        advance the read pointer to next tag
}
}
End of PROCEDURE DecompressPicture

```

3.3 遠端執行

當學生在遠端完成程式設計後，再來就是命令控制程式驅動設備執行所設計的程式，當學生進入這個階段後，除了看得到原來上一階段的開發程式的畫面外，另外也必需觀察設備實際的運作情況，所以必需開啟另一個視訊流觀看設備的即時視訊。藉由 Windows 作業系統的多媒體功能，我們可以將這些最新的視訊壓縮標準，例如 H.263 或 MPEG-4，整合於我們的系統中。我們目前使用 Microsoft MPEG-4 即時視訊壓縮 codec，利用 USB CCD 擷取控制設備的視訊畫面，以 MPEG-4 codec 壓縮後，將 MPEG-4 bitstream 包裝成我們定義於控制伺服器與學生端所使用的封包(packet)格式，當學生端的視訊接收程式接收到一個完整圖像的壓縮資料後，即將其解壓縮並呈現於桌面上。

視訊流的傳送方式採控制伺服器主動傳送方式，每秒檢查一次網路連線品質，動態調整 frame rate。在執行階段，即時性是一重要的考量，如果設備在操作過程中發生任何意外情況，那麼就需要及時反應至學生端或由控制伺服器接手控制權，以避免實習設備現場發生無法復原的錯誤。所以視訊

流並不能佔據所有的頻寬，以免學生發送控制命令時，封包延遲抵達而發生意外。

除了上述軟體設計的議題之外，另一個在實作時會遭遇的問題是當遠端的設備由於程式設計問題而進入錯誤狀態，如果遠端在操作的過程中可能發生這樣的意外，實習硬體應提供一個可由軟體輸入的強制重置訊號。如果遠端操作時發現異常現象，可藉由這個功能重置硬體，待硬體重置完成，即可讓遠端繼續操作。

4. 實作成果

本節所要介紹的實作成果有控制伺服器畫面、設計階段遙控畫面、執行階段的視窗畫面、監控視訊畫面以及控制伺服器端所要控制實習的設備。

4.1 PLC 設計程式操作示範

當某位同學在校外任何地方，想要進行實習工廠的實驗時，可以使用 Internet，在網址列登入 <http://qr-project.tnit.edu.tw/>，即可進入 TNIT 網路教學的網頁，如圖 4 所示，於登入帳號密碼後，即可進入學習之畫面，在這裡學生可以選擇所要實習的項目，例如貨梯、機器手臂或輸送帶等。



圖 4 虛擬實習教室首頁

現在我們以貨梯的實驗為例說明遠端控制實習的方法，學生由圖 4 的網頁中之實習項目選擇貨梯實習，其實際設備如圖 5 所示。可連結到控制伺

服务器的電腦，以啟動我們所設計[遠端控制桌面]的功能，可隨意操作遠端控制伺服器的電腦，當我們開啟 PLC 之控制軟體時，就可以以電機控制的動作邏輯觀念來設計貨梯的動作順序階梯圖，如圖 6 所示就是以遠端遙控畫面設計 PLC 動作控制回路的情形。



圖 5 控制伺服器端控制教學設備

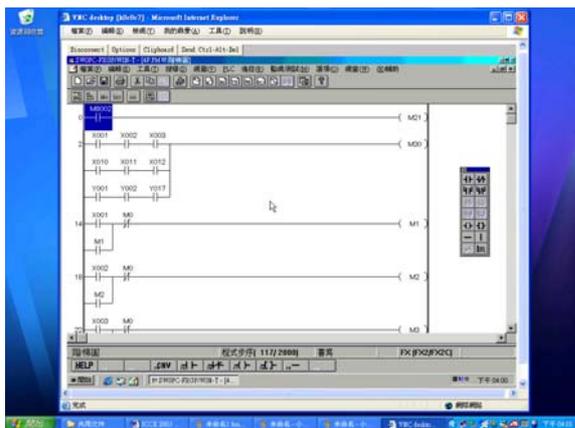


圖 6 以遠端遙控畫面設計 PLC 程式

當 PLC 之控制軟體將貨梯的控制回路設計完成後，我們就可將其化為程式寫入 PLC(write to PLC)，然後開始在遠端控制貨梯的動作。因為我們在遠端無法操控到實習教室內貨梯的輸出/輸入

設備，因此我們以強制 ON/OFF(FORCE ON/OFF)的方式來使 PLC 的輸入或輸出動作，如圖 7 所示。

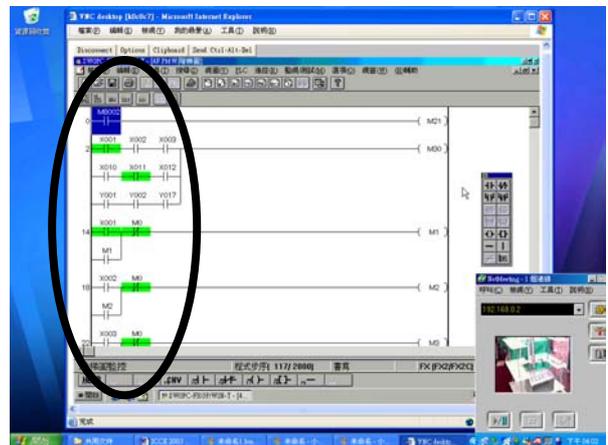


圖 7 PLC 執行階段與視訊畫面

4.2 影像/視訊傳輸位元率統計圖

圖 8 所示為經過本論文所提出的影像壓縮演算法後的位元率(bitrate)統計圖，原始影像是 1024x768，16bits 的桌面影像。這個統計圖表的取得是由某個學生在網路上遙控操作 PLC 撰寫程式，某一段時間的位元率，其中 X 軸是影像的張數，Y 軸是位元數(以 BYTE 為單位)。由這張圖表可以看出，大部份的操作時間，均只佔用小量的網路頻寬。

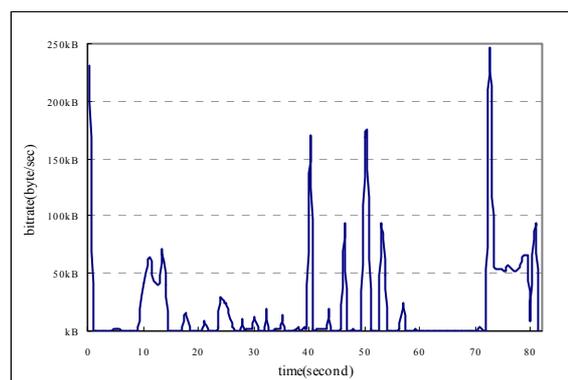


圖 8 影像壓縮後之位元率

5. 結論與未來工作

本論文提出一個富有彈性的遠端操作系統，並且能應用於各種教學平台。除了傳統 Web 化的靜態教材外，我們提供另一種線上的設備操作與監視架構。透過親和的使用者介面，學生可以直接使用原來單機板的應用程式而不須學習新的操作介面。除了應用於教學環境，我們將進一步應用這些技術於工業設備的監視、維護與管理，讓 IT 產業與工業控制能結合應用。

參考資料

- [1] Chin-Hwa Kuo, Tay-Shen Wang, and Ping-Huang Wu, "Design of Networked Visual Monitoring Systems", The Tamkang Journal of Science and Engineering, Dec. 1999, Vol. 2, pp. 149-161.
- [2] Mo Fu, Christopher Yeo, Yuetong Lin and Fei-Yue Wang, "WAVES: Towards Real Times Laboratory Experiment in Cyberspace", System, Man, and Cybernetics, 2001 IEEE International Conference on.
- [3] V. Ramakrishnan, Y. Zhuang, S.Y. Hu, J.P. Chen, C.C. Ko, Ben M. Chen, K.C. Tan, "Development of a Web-Based Control Experiment for a Coupled Tank Apparatus", Proceedings of the American Conferences, Chicago, Illinois. June 2000.
- [4] Malgorzata S. Zywno and Diane C. Kennedy, "Student Attitudes toward the Use of Hypermedia Instruction and Web Support in Control Education – a Comparative Study", Proceedings of the American Control Conference, 2002, pp.1652-1657
- [5] Dawn Tilbury, Jonathan Luntz, "Controls Education on the WWW: Tutorials for MTLAB and SIMULINK", Proceedings of the American Conferences, Philadelphia, Pennsylvania. June 1998.
- [6] Daniel D. Suthers, "Architecture for Computer Supported Collaborative Learning", Proceedings of IEEE Inter. Conference on Advanced Learning Technologies, 2001, pp.25-28
- [7] Kreijns, K., Kirschner, P.A., "The Social Addordances of Computer-supported Collaborative Learning Environments", Proceedings of Frontiers in Education Conference, 2001, Vol.1, pp.T1F-12 – T1F-17
- [8] Nitin Swamy, Ognjen Kuljaca, Frank L. Lewis, "Internet-Based Educational Control Systems Lab Using NetMeeting", IEEE Trans. On Education, vol. 45, No.2, May 2002, pp.145-151
- [9] Hess Hodge, H. Scott Hinton and Michael Lightner, "Virtual Circuit Laboratory", Proceeding of ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 2000. pp.T1D-1 – T1D-6.
- [10] Christof Rohrig and Andreas Jochheim, "The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet", Proceedings of the 1999 IEEE Inter. Symposium on Computer Aided Control System Design, pp.279-284
- [11] Andreas Jochheim and Christof Rohrig, "The Virtual Lab for Teleoperated Control of Real Experiments", Proceeding of the 38th Conference on Decision & Control, 1999, pp.819-824