

無線感測網路在數位創意學習之應用

Using Wireless Sensor Networks in Creative Digital Learning

許素朱 Su-Chu Hsu
國立台北藝術大學科技藝術研究
Tel:+886-2-28938751
Email: suchu@techart.tnua.edu.tw

林經堯 Jin-Yao Lin
國立台北藝術大學科技藝術研究
Tel:+886-2-28961000 #2285
Email: jinyao.lin@gmail.com

摘要

「未來博物館」觀念已是歐美各國博物館所重視的一個展示新方向，它不但提高館藏展示的活潑性，也增加了博物館的競爭性。本研究乃針對「未來博物館」觀念再賦予無線感測網路感測技術與觀念，作為展場與學習者互動之智慧型控制與管理，使展場達到「智慧型未來博物館」新的創意展現方式。

在本研究中，我們把過去執行的國科會數位典藏計畫「DIGIart@eTaiwan --文化內容數位媒體藝術創意加值研究」所完成的作品，於博物館展場中展示，實現未來博物館觀念，建構新的數位創意學習模式。我們運用資策會所提供的 ZigBee 無線感測器於展場中，建立一個學習行為回饋系統，蒐集參與者的學習行為資料，並作相關學習效益統計分析。除此，這些學習回饋資料將再被作視覺化處理，形成另一件在展場呈現的互動式數位藝術作品，此作品的產生與互動狀況乃由所有學習者的行為共同經營而成。

無線感測網路已在國防、醫學、交通、環保、居家等領域有許多應用，本研究乃從人文藝術的領域來探討其應用之可能性，希望本研究是個啟發，期未來無線感測網路在人文藝術方面能有更多的應用。

關鍵字

未來博物館、數位典藏、數位文化內容、數位創意學習、數位藝術、裝置藝術、互動介面、無線感測網路、感測結點器、群蜂、視覺化

Abstract

The concept of a "future museum" has gained currency in recent years, introducing fresh activity and competition among existing museums. In this paper, we discuss the use of wireless sensor networks in the context of a "future museum" -- and thus enable it to become a "future intelligent museum," a special place where new creativity can unfold.

We discuss the integration of interactive art works from DIGIart@eTaiwan in museums to create digital creative learning environments. We use wireless sensor networks that communicate using the Zigbee communication standard (supported by Taiwan's Institute for the Information Industry) and build a feedback system for learning that collects information about participant behavior that can be statistically analyzed. In addition, we

examine the data through a visualization display in another interactive art work exhibited in the museum.

Wireless sensor networks have had many applications in medicine, national defense, home automation, transportation, and environmental protection. This paper presents their application in the humanities and arts. We hope that this paper will inspire additional humanities-based art works that use wireless sensor networks.

Keywords

Future Museum, Digital Archive, Digital Culture Content, Digital Creative Learning, Digital Art, Installation Art, Interactive Interface, Wireless Sensor Networks, Sensor Node, ZigBee, Visualization

1. 前言

目前國際上正流行著「未來博物館」的新觀念 [1]，它乃結合互動式數位科技藝術運用於博物館之典藏內容，並以活化的展示方式作呈現，提供一種新的互動式「數位創意學習」模式，即數位文化內容被設計成一件件的互動式裝置藝術(Installation Art)作品，展示於博物館空間中，使典藏品不但有原物展出，亦能有互動式數位藝術之展示與輔助說明，甚至提供民眾於館內參與互動式題問之學習。這幾年台北藝術大學科技藝術研究中心暨研究所已執行了多項數位典藏計畫，更致力推動未來博物館觀念。我們曾執行了「DIGIart@eTaiwan -文化內容數位媒體藝術創意加值研究」計畫[2~4]，已完成了八件互動式數位創意學習作品：「老照片互動式虛擬有聲書」、「歷史器物 - 轉、轉、轉」、「你來寫字、我來唸歌」、「3D 虛擬布袋戲」、「原住民服裝比一比」、「沈浸國畫-十猿圖」、「名畫大發現-清明上河圖」、「放大鏡看文物」等。這些互動式數位創意學習作品，已於各地公開展示，頗好民眾喜愛與好評。



圖 1：「老照片互動式虛擬有聲書」作品（左）

「你來寫字、我來唸歌」作品（右）



圖 2：「歷史器物-轉、轉、轉」作品（左）
「3D 虛擬布袋戲」作品（右）



圖 3：「沈浸國畫-十猿圖」作品（左）
「名畫大發現-清明上河圖」作品（右）



圖 4：「放大鏡看文物」作品（左）
「原住民服裝比一比」作品（右）

在展場中，民眾必須參與每件作品之互動學習，而如何輔助與評估民眾與作品間的學習效益，是互動式數位創意學習的一個重要課題。在經濟部無線寬頻計畫「歷史創新-神龍再現，大南海文化園區無線寬頻網路環境建置」[5]，我們曾與宏基股份有限公司合作於歷史博物館建置「無線定位 PDA 輔助學習系統」，運用無線網路、PDA、紅外線定位等技術，讓民眾持 PDA 走至作品前面，經定位系統偵測位置並無線傳送該作品之輔助說明與數位學習提問至 PDA，讓民眾在觀賞作品之餘尚能進一步作學習。然，如何解決紅外線無線偵測的死角問題、如何解決展覽場地無線感應器與電源問題、如何解決互動式控制的型式問題、如何讓民眾的身份辨識資料融入學習效益分析...等問題，都是我們曾遭遇的挑戰。若能解決這些問題，此將使互動式數位藝術學習更上一層樓。

無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)觀念與技術在 2000 年由美國加州大學柏克萊分校首先提出[6~8]。無線感測網路由許多的感測結點器(Sensor Node)構成，形成一個網路(Web)。每個 Sensor Node 可以說是一個“小 PC”，體積很小且不需大量電源，它具有運算與記憶功能，且內部可含有不同的感測器，

而且彼此間還可利用無線傳輸傳遞訊息(Ad hoc networking)[6]。在“911”事件後，無線感測網路的研發在美國更是被重視，美國國防部甚至贊助大筆經費給相關單位擴大研究，以防範恐怖事件。目前無線感測網路已是國際無線資訊技術研究的一項重要研究，它也開始被應用到許多領域。

群蜂 (ZigBee)，是無線感測網路的一種。ZigBee 一詞源於蜜蜂，是因蜜蜂透過 ZigZag 字形舞蹈，與同伴通信傳遞花與蜜的位置、方向、距離等訊息，藉此做為這項短距無線通訊新技術的命名[9]。ZigBee 技術朝著開放的方向制訂標準規範，主要是由 IEEE 802.15.4 小組與 ZigBee Alliance 兩個組織，分別制訂硬體與軟體標準。ZigBee 跟其它的無線感測網路一樣，是一種短距離的無線通訊標準，具有低耗電、雙向傳輸、高可靠度、感應網路功能等特性，容易整合個人無線數位環境，並應用於多樣的產品，包括：工業監控、家庭環境日常生活監控應用、消費性電子產品、PC 週邊、醫療監控、玩具等，商機相當可觀。近幾年來已從國防軍事用途，廣泛應用在監測、控制與自動化等市場，全球已有 185 家廠商成立聯盟推動。資策會網路多媒體研究所已通過德國萊因集團 ZigBee 驗測試[10]，資策會網路多媒體研究所目前在國立自然科學博物館，結合 PDA、Zigbee 定位系統與 WLAN 製作一定位導覽系統[11]。



圖 5：資策會網路多媒體研究所所研發提供之 ZigBee Tag、ZigBee 資料收集器、ZigBee Router。

在經濟部「數位創意生活應用技術研發」學界科專計畫中，我們運用無線感測網路於作品展示的數位創意學習環境中，建立一個學習者學習行為的回饋系統。我們所選用的無線感測網路是由資策會網路多媒體研究所所研發提供的 ZigBee 感測定位系統[10]，來建置數位創意學習回饋系統。整個數位創意學習回饋系統概念為：一旦民眾註冊後帶著感測器標籤(Tag)進入展場，在每件作品的展示場域中，回饋系統會偵測學習者的位置並作登入且啟動互動式創意學習作品，爾後會把參與者成績與學習相關資料傳入回饋系統的資料庫中。回饋系統將蒐集學習者的學習行為資料，並作統計分析，如性別學習效益分析、年齡學習效益分析、展期時間學習效益分析、同一個學習者不同次

數參與學習之效益分析、...等。除此，這些學習回饋資料將再被作視覺化(Visualization)處理，形成另一件在展場呈現的互動式數位藝術作品，此作品的產生與互動狀況乃由所有學習者的行為共同經營而成。

2. 無線感測網路應用

由於近來微型製造技術、通訊技術及電池技術的改進，使得無線感測網路體積越來越小、感測功能越來越多樣、電池持續力越來越強、無線通訊及處理資訊的能力也越來越強，這些均使得其應用越來越廣泛[12]。

無線感測網路在軍事應用方面已有許多案例[6~8]，例如在裝備及軍火上加裝 Sensor Node 以供識別、將一顆顆 Sensor Node 投擲於戰場上偵測坦克之駛過，無線感測網路也有被拿來當智慧型軍火的導引器、士兵追蹤...等軍事應用。在環境應用方面，可將幾百萬個 Sensor Node 佈署於森林中，以對任何火災地點的判定提供最快的訊息；無線感測網路也能提供遭受化學污染的位置及檢定出何種化學污染，不需要人親自冒險進入受污染區。同樣的可應用於水災判定、監測空氣污染、水污染及土壤污染、地震、土石流偵測與判定。而其中有名的一個環境保護計畫：“Habitat Monitoring on Great Duck Island”計畫[13,14]，在2002年英特爾研究實驗室與美國加州大學柏克萊分校一起合作在鴨子島部署大量無線感測網路，偵測蒐集溫度、濕氣、氣壓變化，分析其對棲息地之影響，主要目的乃讓研究員甚至全世界能在不干擾棲息的情況下，能觀察與偵測棲息地的生態變化情形。

無線感測網路在家庭或辦公空間之應用更是不勝枚舉。國際許多單位都開始研究建置智慧型居住空間，將無線感測網路佈署於房子內，可以讓人們從遠方或在家裡經由網際網路控制家中事物，如家電開關控制、家中保全。傳統辦公室的空調系統是中央控制，使用無線感測網路，各個角落的 Sensor Node 可以知道當時的環境狀況，進而要求控制當時的氣溫或空氣流動。在健康應用方面，Sensor Node 可放在病人或藥師身上，如此錯誤的藥物處方或是病人拿錯藥的機會可以降低；救護車車上也可安置 Sensor Node，一旦救護車快抵達醫院時，醫院便可知道何種病患將抵達，以提早做好準備[12]。另外，在交通應用方面，監控車輛或商品的失竊、車輛的追蹤和交通流量的控制，都是這幾年的應用研究方向。生產線上的品管控制，利用 Sensor Node 偵測不良產品，也是各產業開始注意的應用方向。

Jayme Earl Hero 在 2004 年曾提出 "Wireless Sensor Networks for Interaction in Virtual Environments" [15]。這份論文建立了一套在虛擬實境裡的無線傳感器網路系統互動系統。系統主要使用 Mica2 Motes 為無線傳感器網路和 VRJuggler 為 VR 應用環境，主要乃研究參與者持著

含彎曲、壓力、定位的無線感測結點器於虛擬實境環境中，對虛擬物件進行控制。



圖6: 無線感測網路在虛擬實境的物件控制應用

無線感測網路在人文藝術方面之應用，目前鮮少被提出。“Harmonic Bridge”是 Bill Fontana 於 2006 年在倫敦提出的一件互動式公共行為藝術[16]。此作品乃在倫敦的 Harmonic 橋上佈署許多含振動偵測的無線感測網路，振動傳感器被安置在橋梁纜繩在不同的結點上，測量結構的振動，這些振動將被解譯成音樂頻率。振動的產生可能由風、小船、過橋者腳步所造成，不同的振動產生方式將創造不同頻的節奏。整個作品，簡單的說是由人行橋上所產生的不同振動，被解譯成聲音，這些不同的聲音透過無線網路再作結合，形成一件被串起的儀器演奏的即興創作。

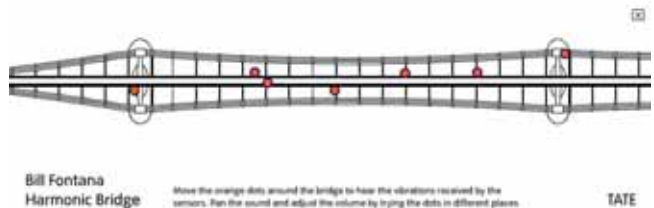


圖7: Harmonic Bridge的互動示意圖

這些年來，Sensor Networks 的發展與應用，已遠超過美國 911 事件的需求。想想人體、手機、PDA、Notebook、收音機、...內部安裝一顆小如米粒般的小 PC 且具感應控制與無線網路功能，未來的世界會是如何？未來相關技術更成熟時，無線感測網路甚至有可能被植入人體，它的應用將會是無可限量與無可想像。例如未來若能把 Sensor Node 植入心臟，當心臟停止時，身體內的 Sensor Node 一感應到心臟停止，即自動撥動手機呼叫 119，而手機內又有另一顆 Sensor Node 負責偵測地理位置，119 便可迅速的掌握地點救人；又如以後搭捷運，人體中每人都有一顆 Sensor Node，人只要直接走過刷卡偵測器，不需再使用優遊卡。無線感測網路未來到底可被應用到多廣，全世界

仍趨之若鶩，未來它的應用有可能會是另一波資訊應用的震撼。

在本研究中，我們應用無線感測網路技術，藉著它的體積小、無線電源、無線傳輸功能、可連接各種不同的感測器，作為展場與學習者互動之智慧型控制與管理，來進行博物館展場內的互動式數位創意學習，使展場達到「智慧型未來博物館」新創意展現方式。

3. 數位創意學習回饋系統建置

「DIGIart@eTaiwan 文化內容數位媒體藝術」中所完成之作品每件都是互動式的參與學習作品，有些作品有提問供學習者參與問答，就像是數位遊戲一樣，一邊參與一邊回答問題，最後作品會呈現學習成績。在本研究中，我們運用無線感測網路(WSN)，於數位創意學習的展場環境中，建立一個學習者學習行為的回饋系統。學習者參與學習的過程中，其身份辨識資料會影響互動式學習作品的呈現方式，如男女性別、年齡層不同，作品會出現相對應的內容出現。另外，此系統也相當於一個學習者的“隱形問卷調查”，它將隨著學習者進入會場開始蒐集學習者參與了哪些作品、參與作品的成績、於不同時間參與同一件作品之學習效益差別、年齡層不同的學習效益差別、性別不同的學習效益差別、...等。

3.1. 創意學習回饋系統運作架構與流程

創意學習回饋系統運作架構，含三大部分：1. ZigBee 定位感測系統、2. 互動式數位學習作品(Flash 程式)、3. 學習者身份與學習內容管理(CMS)系統。在回饋學習系統中，學習者於展場持 ZigBee 辨識標籤(Tag)，參與互動式作品學習，ZigBee 辨識標籤到定位點後，辨識標籤會傳送學習者身份資料(ID)給 Flash，學習者學習完畢再將身份資料及學習成績傳 CMS 資料庫中。即如下之關係：ZigBee ↔ Flash ↔ Database。以下為整個「數位創意學習回饋系統」之運作架構與流程圖。

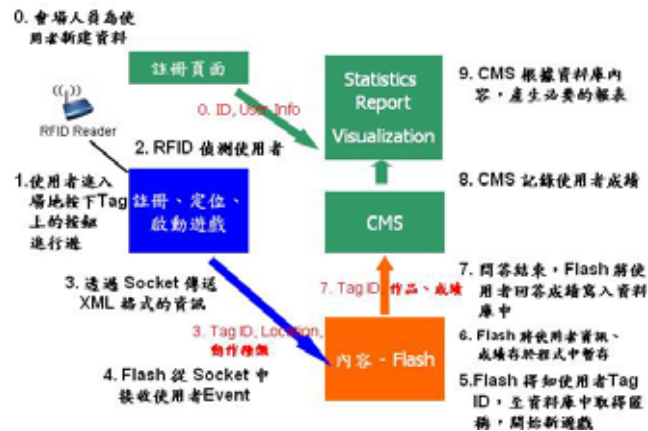


圖 8：數位創意學習回饋系統之運作架構與流程圖

我們將 ZigBee Router 遍佈展場各地，並透過 Router 群將展場內的各項資料傳送至資料收集器。此資料收集器連接至一般 PC，透過 COM Port 將資料利用 Java 程式收集起來，並做成已經制定好的 XML 格式，透過 TCP/IP 將資料送到 Socket Server。學習者一進入展場，可由展場導覽人員協助或自行註冊。註冊資料含學習者的身份基本資料（暱稱、性別、年齡區間）。爾後，學習者領取一個 ZigBee 識別標籤(Tag)帶在身上。

- A1. 學習者帶著識別標籤(Tag)進入展覽場地，可自由步行到任一作品的展示場域空間。ZigBee 定位系統會偵測到學習者的身份，並在定位系統中呈現該學習者已進入該作品之展示場域。

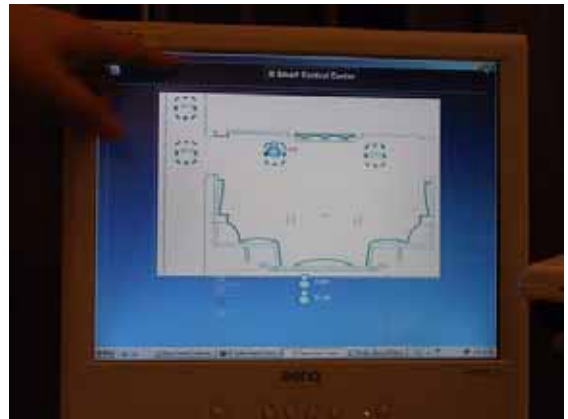


圖 9：ZigBee 定位系統偵測學習者進入作品展示空間內

- A2. 學習者進入作品的展示場域後，若要開始參與作品的學習，其需按一下識別標籤的按鈕，以啟動互動式學習遊戲，在遊戲歡迎頁會顯示參與者之姓名等資料。



圖 10：「歷史器物-轉、轉、轉」展示現場地板投射著互動學習遊戲的影像。

- A3. 學習者按了按鈕後，ZigBee 定位系統透過 Socket 傳送 XML 格式的資訊至互動式創意學習作品的 Flash 程式。
- A4. 互動式創意學習作品的 Flash 程式從 Socket 中接收使用者的相關行為事件(Event)。

A5. 互動式創意學習作品 Flash 程式得知使用者 Tag ID，至學習者身份資料庫中取得學習者之匿稱以及年齡層資料，便開始進行遊戲參與。若 ID 是兒童，則遊戲的互動與說明方式將會用兒童版方式呈現；若 ID 是成年人，則遊戲的互動與說明方式將會用兒童版方式呈現。

若遊戲進行中有其它學習者進入，系統將視不同情形來作處理：

- 若已有學習者正在參與學習遊戲，則系統不作處理。
- 若使用者被偵測到離開遊戲區，則重新啟動互動式遊戲。
- 若學習者 idle 時間過長，則系統會重新啟動互動式遊戲。
- 若使用者答完後，還想再玩一次，則需重新壓下 Tag 按鈕來啟動。

遊戲進行中使用者以腳踏作答，MaxMsp 的影像偵測程式將偵測使用者所踩的答案。

A6. Flash 將使用者的身份資訊與每題成績，先暫存於程式中。

A7. 互動式創意學習作品的問答結束時，Flash 便將使用者回答成績寫入 CMS 資料庫中。

A8. CMS 將記錄使用者成績。

- 使用者未答完所有問題而離場則清除舊有記錄，不儲存。
- 使用 HTTP Request 來送出資料至 Database。使用不同的欄位來區別作品題目。

A9. CMS 根據資料庫內容，產生必要的統計報表。

3.2. 學習者身份與學習內容管理(CMS)系統

在本研究中，主要運用 CMS 內容管理系統來管理的資料，有三個：有提問之作品的題目內容資料管理、展場學習者身份資料管理以及作品展場學習成果資料管理。

a. 提問作品題目內容管理資料庫

在「DIGIArt@eTaiwan 文化內容數位媒體藝術」作品中，「歷史器物-轉、轉、轉」、「原住民服裝一比」、「放大鏡看文物」、「沈浸國畫-十猿圖」、...等作品都是屬於有提問或計分之互動式數位作品。我們設計內容管理系統 CMS (Content Management System) 以管理每件作品之內容、提問問題、參與者答案、分數，以讓 Flash 自資料庫中抓取內容作互動式展示呈現。如此，可使互動式作品本身內容隨時可作修改與增加內容。

為了要滿足方便製作與管理的目的，我們必須使用簡單的介面配合資料庫的使用，如此可以讓使用者以簡單的方式來製作教材。所以我們需要一個教材設計介面，同時把資料儲存在資料庫內。資料庫要能夠把資料轉換成 XML 的資料，傳送給 Flash 內讀取。Flash 讀取到 XML 的資料後，要能夠拆解資料庫的結構與資料，並將之放置於正確的位置。多媒體資料必須要能鑲嵌於 Flash 內，因此，必須將聲音及圖形檔轉換成 Flash 的格式。

以「歷史器物-轉、轉、轉」作品為例：其乃應用影像分析辨識的互動裝置，透過投影機將歷史器物相關圖像與互動式提問之題目與答案，隨機產生並投射在展示廳地板的同心圓上，內圈為器物圖像，中圈為題目，外圈為答案。文物影像不時的旋轉，遊戲的民眾可由任何角度參與作答。回答的方式是以腳去踏地面上四個小白圓的投影位置，系統將自動判斷答案正確與否。提問資料庫含有器物 ID、圖像、十題題目，每題有題目、四個選擇答案、正確答案、每題計分。

「歷史器物-轉、轉、轉」器物內容資料庫

中文說明	欄位名稱	型態
器物的序號	Serial	Int
器物 ID	ObjID	Int
圖片檔位置	Picture	Varchar(256)



圖 11：「歷史器物-轉、轉、轉」遊戲投射影像。

「歷史器物-轉、轉、轉」遊戲題目資料庫

中文說明	欄位名稱	型態
题目的序號	Serial	Int
器物 ID	ObjID	Int
題目	Qut	Varchar(256)
選擇答案 1	Ans1	Varchar(256)
選擇答案 2	Ans2	Varchar(256)

選擇答案 3	Ans3	Varchar(256)
選擇答案 4	Ans4	Varchar(256)
正確答案	CorrtAns	Int
分數	Score	Int

b. 展場學習者身份資料學習成果資料管理資料庫

在本研究的創意學習回饋系統乃相當於一個學習者的“隱形問卷調查”，它將隨著學習者進入會場開始蒐集學習者參與了哪些作品、學習者參與作品的成績、學習者於不同時間參與同一件作品之學習效益差別、年齡層不同的學習效益差別、性別不同的學習效益差別、...等。所以，參與者參與完互動學習作品之後，也相當於填完問卷調查表。為了蒐集學習者的相關學習資料，我們建置展場學習者身份資料資料庫、以及學習成果資料管理資料庫。

學習者基本資料庫

中文說明	欄位名稱	型態
自動累加的序號	Serial	Int
暱稱	NickName	VarChar(30)
年齡類別	AgeType	Int
性別	Gender	Char(1)
RFID Tag 編號	TagID	VarChar(4)

學習者學習成果資料庫

中文說明	欄位名稱	型態
自動累加的序號	Serial	Int
日期時間	PlayDT	Time
使用者 ID	UserID	Int
作品編號	ArtWorkID	VarChar(6)
分數	Score	Int

相關資料會隨展場時間作統計分析：

- 哪些作品最受歡迎：此可從 ZigBee 定位系統知道每件作品學習者進入展示場域的情形作分析。
- 每日作品的參與人數統計，平均分數、最高分、最低分、男女比例、成年幼童比例、...等。
- 作品受觀賞的一週分配比：可瞭解一週中哪些日期民眾最常來展場。
- 作品成績與性別關係作比較。
- 作品成績與年齡層關係作比較。
- 作品成績與展場時間越長而有所影響，即學習者的平均學習成績是否因展期的長短有影響。

本系統透過 Socket Server 不斷將 ZigBee Server 所廣播之資料擷取並儲存於資料庫之中，並透過已經輸入過之資料將使用者的習性做一分析處理，管理者可透過網頁介面一覽展覽與參觀者的互動情形。下圖為管理使用介面。

序號	暱稱	性別	年齡區間	帳號編號	動作
5	King	男	幼年	2222	刪除
6	Oren	女	青年	3333	刪除
7	ring	女	青年	4444	刪除
8	Joy	男	兒童	5555	刪除
10	Edson	男	嬰孩	0505	刪除
16	Allen	男	兒童	3636	刪除
17	Nicole	女	兒童	8798	刪除
18	Nancy	女	青少年	6541	刪除
19	Grace	女	青年	7778	刪除
20	Joe	女	資深	0924	刪除

3.3. 創意學習回饋資料之數位藝術再現

創意學習回饋系統除了提供相關統計資料之分析外，我們也將這些學習回饋資料再作視覺化 (Visualization) 處理與再現，使之形成另一件在展場呈現的互動式數位藝術作品。即展場中除了原有的數位文化創意學習作品外，我們另外也設計了「學習回饋」互動數位藝術作品，它的互動狀態乃隱藏在所有學習者的學習行為，由所有學習者的行為共同經營而成。「花與精靈」、「靜物畫」是這次學習回饋經營的互動數位藝術實驗作品。這兩件作品曾是台北藝大 2004 年花卉藝術節之互動式數位藝術作品 [17]。

「花與精靈」這原是件互動式裝置藝術，可讓觀者於現場種植出具象與抽象之花朵與精靈。種植的結果投射於牆壁，民眾可用聲控方式如唱歌、口哨來催促控制花與精靈的生長，讓它從冬眠中甦醒。在「學習回饋」互動數位藝術作品實驗，「花與精靈」從冬眠甦醒狀態不再由民眾用歌聲喚醒，而是把學習回饋系統中所記錄當下的前一小時的學習者平均學習成績當成催化甦醒的營養劑，即參與者的平均學習成績越高，花與精靈所得到的營養劑越多，催化甦醒的程度越好。當民眾看到「花與精靈」從冬眠中沒怎麼甦醒，民眾會回頭繼續努力參與互動式學習作品，努力讓學習成績更高，以刺激「花與精靈」的成長。

「靜物畫」這原是件互動式數位裝置藝術，作品乃模擬掛在柱子上的一幅古典靜物油畫，藉由觀者靠近觀看時由紅外線距離感應器偵測觀眾之觀賞距離，引發靜物畫內的花與各種物品的動作，如：花開、燈光明滅、風吹....等，呈現古典與數位的交錯美感。在「學習回饋」互動數位藝術作品實驗，這一幅靜物油畫將會懸掛於互動式創意學習同為書畫的作品「沈浸國畫 - 十猿圖」展場外的柱子，以作為「互

動」之呼應。「沈浸國畫－十猿圖」的展場，當民眾用香蕉把傳心畵畫中的所有猴子引到正確位置的層度比，也反映到「靜物畫」中花多開放與光線展亮的層度。即民眾在「沈浸國畫－十猿圖」的學習成績會影響到展場柱子上的「靜物畫」的花朵與光線的變化。



圖 12：「花與精靈」、「靜物畫」互動式數位藝術作品



圖 13：「沈浸國畫－十猿圖」創意學習作品的展場

要達成上述功能，資料收集與管理的資訊整合系統將扮演重要的角色，該系統負責資料的收集、統計與分析、平台間的資料整合、資料的派送等等。系統的整體架構如下圖所示，主要由三部份所構成。一是前端互動裝置，包含 ZigBee 設備、互動式創意作品、與負責資料呈現的創意機具；二是資料交換中心，是一個 XML-Based，以廣播的方式，傳送訊息的 Socket Server；三是資料管理中心(CMS)，負責資料的儲存、分析，內容的管理，報表的建立等。

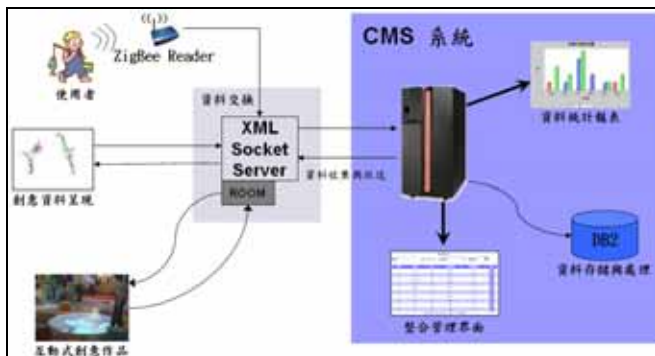


圖 14：互動式創意學習回饋系統架構圖

5. 結論

「未來博物館」觀念已是歐美各國博物館所重視的一個展示新方向，它不但提高館藏展示的活潑性，也增加了博物館的競爭性。本研究乃針對「未來博物館」觀念再賦予無線感測網路感測技術智慧型作展場與學習者互動之控制管理，使其達到「智慧型未來博物館」新的創意展現。除此，無線感測網路在互動式數位藝術作品之應用仍有許多發揮的空間。過去在互動式數位藝術的執行與展示時常面臨諸多問題，無線感測網路正可彌補解決這些問題。

- 如何增加互動式數位控制的多樣性與彈性：由於市面上所賣的紅外線感應器大都是電子型式，無法隨時修改其功能，也無法控制更多視訊設備，如 DVD Player、數位攝影機、投影機、音響設備，甚至作更複雜之變化與組合。因此，我們期望藉“數位式”的感應器如無線感測網路(WSN)，可把感應程式(方式)、控制程序、回饋方式，寫入裡面並隨時可作修改。例如：在「靜物畫」互動式數位藝術作品，未來我們可運用無線感測網路技術，使用了溫度感測器與距離感測器，使兩幅畫依氣候、季節切換油畫不同之季節花，而且兩個柱子前都有觀賞者時，兩幅畫透過 Sensor Networks 作交互之“對話”。
- 如何同時使用無線網路、無線感應器、無線電源：電源線、網路線、感應接線暴露於展覽場地，一大堆的線路是視覺設計上很忌諱的事。對於同時結合無線網路、無線感應器、無線電源於一身的設備，無線感測網路可說是全世界目前最新的技術。我們期望藉其此特點克服展覽場地現場地上一大堆線路交盤在一起之忌諱問題。
- 感應死角問題：由於市面上所賣的紅外線感應器，感測距離太短、感應角度亦過小，未能符合需求。未來若能使用無線感測網路的 Sensor Node 彼此傳輸與互動式控制，將可解決此問題。
- 長距離無線傳輸問題：由於展場空間很大且有可能作品分佈在不同層樓甚至不同建築物內，甚至有的作品本身很大如 Bill Fontana 作品是一座橋那麼大，長距離傳輸便問題。無線感測網路可由一顆一顆的 Sensor Node 接力把感應訊號藉無線傳輸一一傳至下個傳至目的地，將可解決此問題。

使用無線感測網路(WSN)在互動式數位藝術作品及學習回饋分析，雖可解決許多問題，但相對的，應用無線感測網路也有一些問題發生：

- Sensor Node 電池壽命問題：Sensor Node 本身是用電池來供應運作所需的能量以及無線電傳輸的距離的限制。一個展場的展覽期限往往是一個月甚至更長，因此未來無線感測網路應用於展場時，Sensor Node 的電池更換是未來需解決的一個問題。

- b. Sensor Node 價格仍嫌昂貴：我們目前使用的無線感測網路是資策會提供的 ZigBee 系統，每個 Tag 平均價格在台幣二千元左右，目前在展場實驗只能用 30 個作測試。但，一個展場有可能同一時候有數百人在展場內。展場所需的 Tag 數量必需符合實際之需要，才能作客觀之學習資料蒐集與分析。但目前價格仍嫌昂貴，不是一般展場可負擔的。要達普遍推廣使用，仍有一段時間。
- c. 投影機 Projector 開關控制：由於每件互動式作品幾乎都有使用投影機，而長時間使用投影機，投影機燈泡容易損壞。投影機的燈泡壽命、投影機的燈泡昂貴，是每個展場擔憂之事。因此，我們原先計畫在每件作品都有設置相關偵測，一旦許久沒有民眾參與觀賞時，投影機會自動進入 stand by 狀態或關閉狀態。一旦展場最遠處的 Sensor Node 感應到有人進入展區，它便透過一顆顆 Sensor Node 把訊號傳至最近展場控制投影機的 Sensor Node，使其切換投影機至打開狀態，恢復作品正常展示。如此一來，每件作品會智慧的自動控制管理投影機，此可使投影機燈泡壽命得到保護。但由於直到目前我們還未找到相關可以更改設定的投影機，因此此方面研究暫時延擱，等未來找到相關投影機設備，我們將再繼續作實驗與測試。

無線感測網路已在醫學、國防、居家、交通、環保等領域有許多應用，本研究乃從人文藝術的領域來探討其應用之可能性，希望本研究是個啟發，期未來無線感測網路在人文藝術方面能有更多的應用。

致謝

感謝經濟部贊助「數位創意生活應用技術研發」學界科專計畫，本研究為該計畫的其中一個研究項目。同時，感謝陳家文先生、林景瑞先生、黃裕雄先生、林雅芳小姐等的參與，分別在多媒體整合、裝置設計、多媒體設計展覽推廣等方面之投入，使得本研究能順利完成。另外，也感謝台北科技大學陳英一教授與蔡振欣先生協助 CMS 資料庫分析與建置，以及資策會網路多媒體研究所提供 ZigBee 相關技術與設備提供。

參考文獻

- [1] 許素朱，"數位文化內容媒體藝術創意加值研究"，第四屆數位典藏技術研討會，2005 年 9 月，頁 71-78。

- [2] 許素朱，"DIGIart@eTaiwan --文化內容數位媒體藝術創意加值(II)"，國科會技術報告(May 2006)，NSC 94-2422-H-119-002。
- [3] 許素朱，"互動式數位藝術創意設計與研究"，國科會技術報告(May 2006)，NSC 94-2422-H-119-003。
- [4] 許素朱，"DIGIart@eTaiwan --文化內容數位媒體藝術創意加值(I)"，國科會技術報告(May 2005)，NSC 93-2422-H-119-003。
- [5] 許素朱，"歷史創新-神龍再現「大南海文化園區無線寬頻網路環境建置計畫」"，經濟部，2003。
- [6] Holger Karl, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", ISBN 0470095105, John Wiley, 2005-06-10.
- [7] Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Cory Sharp, David Culler, "The Mote Revolution: Low Power Wireless Sensor Network Devices", Proceedings of Hot Chips 16: A Symposium on High Performance Chips. August 22-24, 2004.
- [8] 無線感測器網路 (Wireless Sensor Networks), IMUS Lab on the 2005.05.13.
<http://imus.csie.ncku.edu.tw/imus/sensor/>
- [9] ZigBee- 短距無線網路前景看俏，<http://taiwan.cnet.com/news/comms/0,2000062978,20071302,00.htm>。
- [10] 資策會 ZigBee-based Remote Controller，
http://www.iii.org.tw/95plan_15.htm。
- [11] 鄭好君，"結合無線感測網路，ZigBee 應用前景看好"，電子工程專輯，2005 年 7 月 22 日，http://www.eettaiwan.com/ART_8800372353_480502_01b16b20200507.HTM。
- [12] Workplace Applications of Sensor Networks, W. Steven Conner, John Heidemann, Lakshman Krishnamurthy, Xi Wang, and Mark Yarvis, Technical Report ISI-TR-2004-591, USC/Information Sciences Institute, July, 2004.
- [13] Alan Mainwaring, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, David Culler, John Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, Atlanta, Georgia, USA, 2002.
- [14] Habitat Monitoring on Great Duck Island, <http://www.greatduckisland.net/>
- [15] Jayme Earl Hero, Wireless sensor networks for interaction in virtual environments, Master Thesis, Iowa State University, 2004.
- [16] Bill Fontana: Harmonic Bridge, 2006.
<http://www.tate.org.uk/modern/exhibitions/fontana/>
- [17] 許素朱、吳宗翰、張博智、蔡珽伶，花與精靈，2004 花卉藝術節。
http://techart.tnua.edu.tw/2_exhibition/flower-exh.htm