

應用於銀髮族電腦輔助教學之腕部穿戴式裝置與其系統

張萬榮

南臺科技大學電子工程系

allenchang@stust.edu.tw

摘要

現今世界各先進國家已逐步邁入老齡化的銀髮族高齡社會，在電腦及網路使用非常普及的現代化社會下，身處於高齡社會的銀髮族，有需要學習使用電腦及網際網路的人口，亦有日漸增加的趨勢。然而，由於銀髮族基於有限的教育程度及數位資訊知識，在學習電腦的過程中，可能因不知道如何使用電腦滑鼠及鍵盤，而對於電腦學習感到挫折與沮喪。銀髮族雖然了解學習電腦有助於融入現今社會的日常生活型態，但也可能因需要去學習電腦而感到焦慮。對此，本論文提出了一個可應用於銀髮族電腦輔助教學之腕部穿戴式裝置與其系統，透過搭配著腕部穿戴式裝置，去幫助了解銀髮族電腦學習者的電腦操作學習狀況。本系統可以識別及分析學習者在參與電腦課程進行中的操作反應及行為。於本系統中，安裝在學生手腕上的運動感測器，可以偵測到手腕移動方向及垂直加速度的差異性，來確認學習者在電腦操作的過程，例如：鍵盤輸入、滑鼠點控、手腕晃動、與靜止等動作。此外，本系統亦包含了一個遠端後端伺服器，以接收透過無線感測器網路傳來的學習者手腕活動訊號，接著分析這些銀髮族學習者的電腦學習成效，並產生一個圖形化結果及評分表，來幫助電腦授課講師去了解學生的學習狀況。而此類銀髮族操作電腦所蒐集到的腕部動作資訊，也可以幫助授課講師去調整課程內容及活動設計，以符合學習者的需求。

關鍵詞：電腦輔助教學、運動感測器、學習技術、穿戴技術

Wrist-Wearable Devices and a System for Supporting Elderly Computer Learners

Wan-Jung Chang

Department of Electronic Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

Today we live in an aging society, and there is an increase in the number of elderly people who want to start using the computer and the Internet, which has become one of the most popular uses of free time today. However, they are hindered by limited education, limited knowledge of digital information, words they do not know, and not knowing how to use the computer keyboard and mouse. The setbacks and frustration they face learning to use the computer contributes to computer anxiety. This paper proposes a computer-learning-assisted system equipped with wrist-wearable devices to help elderly computer learners as they perform computer learning tasks. This system, named the WristEye System, can discern and analyze learners' postures, reactions, and behaviors as they participate in computer literacy classes. In the WristEye System, a kinematic sensor attached to a student's wrist can detect differences in wrist orientation and vertical acceleration and determine which learning computer operations are in process, i.e., directing the mouse, hitting the keyboard, idle, and random undirected movement of the mouse. Moreover, a remote backend server receives the detected signal from the wearable unit via a wireless sensor network (WSN) and then analyzes the corresponding computer learning effectiveness to produce results in graphic and score form to an instructor who can use this information to better tailor his lessons and activities to the needs of the learners.

Keywords: Computer-assisted learning, Kinematic Sensors, Learning Technologies, Wearable Technologies.

Received: Aug. 29, 2016; first revised: Oct. 18, 2016; accepted: Feb., 2017.

Corresponding author: W. -J. Chang, Department of Electronic Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan, Taiwan.

壹、前言

由於二十世紀中所爆發的嬰兒出生潮與醫療技術不斷的演進，而導致近年來年齡大於 65 歲的高齡人口，在世界各國所佔的人口比例均呈逐年上升趨勢，如圖 1。舉例來說，在鄰近的國家日本，高齡人口所佔該國人口比例，已由 1996 年的 15.1% 急遽的增加到 2008 年的 21.8% [1]。換句話說，在 2008 年時，全日本每五個人就已經有一人年齡超過 65 歲 [2]。

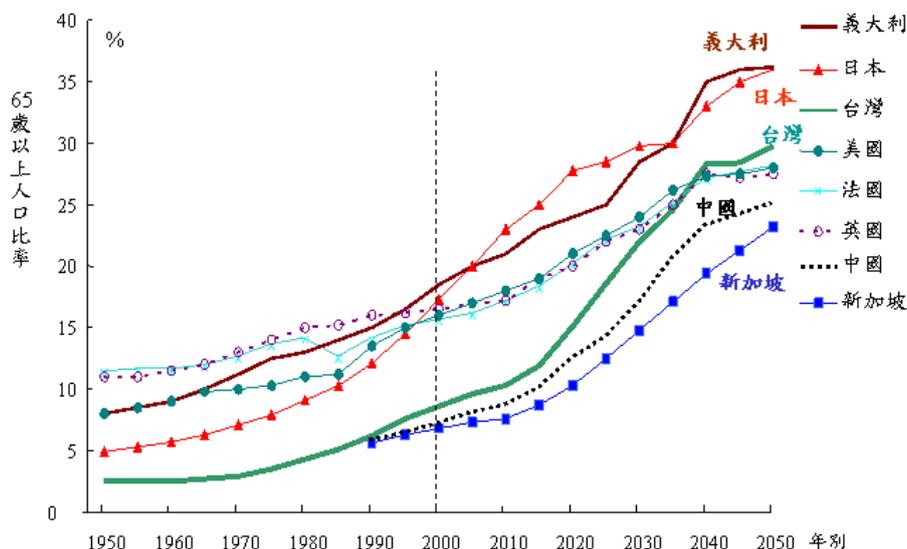


圖 1 世界各主要國家的銀髮族人口成長趨勢

而在此世界各國人口結構即將邁入高齡化的同時，各國政府為了因應「數位化、全球化、永續化」之新世紀來臨，紛紛推出國家型 e 化計畫，如：我國「數位台灣計畫」、日本「e-Japan」、美國的「A Framework for Global EC」、英國的「UK Online」、與南韓「e-Korea」等 [3-4]。上述計畫的主要目標即希望運用資訊與通訊科技來建立一個全面性的資訊社會並且打造無障礙的網路生活環境，並以建設 e 化的國家為目的。因此，在高齡社會的逐漸成型以及世界各國逐漸全面邁入網路 e 化社會的情況下，現今高齡人員必須接觸或學習各種不同電腦技能，將成為不可避免的趨勢 [5]。

近來世界各國中，老年人使用電腦情形因 e 化社會成形而變得普遍，這種現象從美國與台灣的相關研究可看出端倪。美國 Jupiter Communications Inc. [6] 對中老年人上網目的研究指出，六十五歲以上老人的使用人口，雖然目前在 Internet 社會中是屬於最弱勢的族群，但這現象將在未來大為改觀，中老年族群的使用量不但增加，而其使用人口成長率將超越職場主流的少壯派。在台灣方面，針對銀髮族電腦使用的研究指出，所有電腦使用者中老年人的使用行為只佔 6.5% [7]，這個族群對於電腦的使用雖然還在摸索中，但因為電腦網路是新興媒體，工作時可能並未使用過，若要重新學習，還需花一段時間熟悉，因而使用率偏低。然而，隨著老年人的電腦使用行為已經越來越受到重視，可預期未來老年人電腦使用的人數將快速逐年成長。

當高齡者在學習電腦時，首先必須面對的問題在於其學習使用電腦的過程，可能受限於其教育程度 [8]、數位資訊落差、缺乏網路相關知識 [9]、電腦螢幕上的文字太小，以及不熟悉滑鼠與鍵盤、網頁操作等因素 [10]，而導致高齡者在學習電腦的過程中屢屢遭遇困難與挫折，進而影響學習意願 [10]。有國外學者將此種抗拒學電腦的情況稱之為「computer phobia」 [11-13]，即所謂的「電腦恐懼症」。「電腦恐懼症」會使得高齡者在使用電腦時，產生焦慮、害怕、與逃避的心理，繼而降低高齡者使用電腦的意願。即便如此，Morrell [9] 等人則認為，若電腦教學者可設計適當的教學材料，並使用相關輔助工具來增進高齡者對電腦與網路的使用技巧時，將可有效的提升高齡者使用電腦或網路的學習興趣 [14]。

有鑑於此，本論文將鎖定高齡學員的電腦教學者，從成人電腦教育心理學層面著手，以輔助電腦教

學者關注高齡者對於電腦與網路的學習態度、反應和行為為主，藉由穿戴式與科技化資通訊技術的導入，設計並實現「腕部穿戴式裝置與其系統」。本系統主要包含「腕部穿戴式感測模組」與「教學輔助成效判讀平台」。當銀髮族學員在學習某項電腦操作程序(如：操作電子郵件系統或一般文書處理系統)時，其使用鍵盤與滑鼠的手腕部垂直或水平動能可由「腕部穿戴式感測模組」感知並回報至位於電腦教學者所使用電腦上的「教學輔助成效判讀平台」。而平台之教學成效判讀軟體，可比對電腦教學者在操作鍵盤和滑鼠時，手腕部動能與銀髮族學員使用鍵盤和滑鼠手腕部動能之間的相似度，並可因此輔助電腦教學者判斷銀髮族學員對於該項電腦操作程序的學習狀態、反應和行為，進而針對學習狀況不佳的學員給予個別輔導與教學，來提升銀髮族學員學習電腦的意願與興趣。藉由辨識出具有電腦學習障礙銀髮族學員的學習狀態，可發展人性化的互動式教學情境，並從人因工程的角度來達到提升銀髮族電腦學習意願的目的，進而開創創新之穿戴式科技應用情境。

貳、相關研究

近年來，將穿戴式裝置整合至資訊技術系統的相關應用已經越來越普及[15-16]。在文獻[17]中作者提出腰帶和護腕環形式穿戴式設備與其相關應用。它們隨著微電子的發展，這使得晶片更小，效能更強以及開發出愈來愈多樣化的感測器元件，這意味著穿戴式裝置可以有更多樣化的應用。雖然過去穿戴式裝置用在教育目的上的案例較少，然而近年來，已有許多文獻提出將穿戴式裝置應用在教學領域，並可輔導或是評估學習者的學習成效[15-16][18-20]。

Balestrini[18]等人提出了一個資訊排程系統(signal orchestration system, SOS)，該由幾個穿戴式裝置組成。使用資訊排程系統去提升拼圖巧拼活動的成效學習，學生的學習行為可以同時以影音信號的方式傳送給所有團隊成員，所有穿戴穿戴式裝置的團隊成員可以獲得到活動狀態的資訊。實驗結果發現，使用資訊排程穿戴式裝置系統較另外傳統基於紙張的方式更有效率進行活動。資訊排程系統使用者可以在更少的時間內獲得較高的分數，作者於論文中也提出使用資訊排程系統的團隊在學習合作上可獲得更高的效率。

Müller[19]等人利用一個可以從穿戴式裝置感測器收集數據的 App 軟體以及 WATCHiT 穿戴式電腦去收集這些數據進行危機管理(稱之為 CaReflect)。在他們的研究調查中，使用這些設備可以幫助學員反映在某些工作環境本身的效能。在分別參與癡呆護理和危機管理在兩項研究中，學員對自己的反思性學習的效果進行了評估來驗證此一穿戴設備的確效。這兩項研究的確驗證了穿戴式設備可以加強學員的反思性學習能力。

Nakasugi 及 Yamauchi [20]開發一個穿戴式裝置系統，以促進學生去展現他們的學習歷程。他們提出的系統，可以幫助學生以視覺體驗的方式去了解他們的學習狀態。此文獻作者聲稱，這個可穿戴設備會讓學生有更高的學習動機，去增強的視覺體驗來展示他們學習歷程。

總而言之，目前已有許多研究開發穿戴式裝置，來作為電腦輔助學習系統的一個部分，然而上述研究並無針對學生使用這類穿戴式裝置後，再進一步分析學生的學習情況。因此，我們相信，未來將會有更多的研究，聚焦於研發穿戴式裝置來應用於教育與教學的領域上。

參、系統實現

一、系統架構

本研究主要使用五軸動能感測器(Kinematic Sensor)，並實作可即時辨識銀髮族學員在學習某項電腦操作程序時，其使用鍵盤輸入、滑鼠點控、手腕晃動、與靜止等動作。整體系統架構包含位於銀髮族學員之「腕部穿戴式感測模組」與位於電腦教學者之「教學輔助成效判讀平台」。如圖 2 所示，「腕部穿戴式感測模組」負責接收與處理五軸動能感測器所感測到的訊號，由內部演算法判斷手腕部的動作後，以 ZigBee 無線傳輸方式，透過網路將手腕部動作辨識結果，傳送至「教學輔助成效判讀平台」。「教學輔助

成效判讀平台」以 USB 方式與 ZigBee 基地台(Base Station)相連，並可經由 ZigBee 基地台接收到無線網路所傳遞之手腕部的動作事件。「教學輔助成效判讀平台」接收到手腕部動作事件後，進而由成效判讀軟體將電腦教學者在操作鍵盤和滑鼠時手腕部動作樣板(pattern)，與銀髮族學員使用鍵盤和滑鼠手腕部動作樣板相似度比對，藉以輔助電腦教學者判別銀髮族學員學習電腦的狀態。

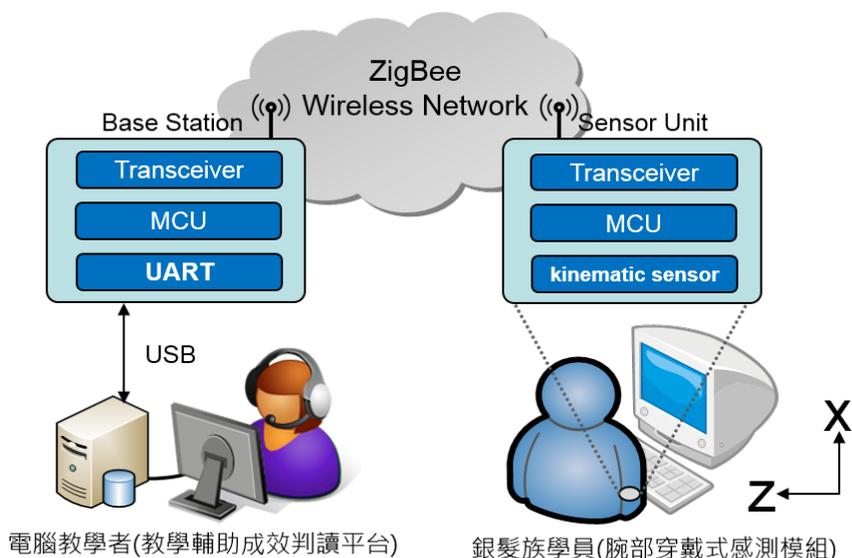


圖 2 系統架構圖

二、腕部穿戴式感測模組

(一) 硬體實現

腕部穿戴式感測模組整合德州儀器(Texas Instruments, TI) CC2430 ZigBee 無線傳輸模組(包含：Atmel Atmega 128L MCU, 4 KB of RAM 與 802.15.4 無線傳輸模組)與 IMU-5DOF 之五軸動能感測器(包含：IDG300 gyroscope [21] and an ADXL330 accelerometer [22])，如圖 3 所示。腕部穿戴式感測模組具有三個主要功能：(1)擷取 IMU-5DOF 中陀螺儀與三軸加速度計之訊號，並利用 CC2430 內部 8051 微處理器之內嵌腕部動能，辨識演算法辨識手腕部之動作(包含：垂直、水平、晃動、與靜止等動作)；(2)藉由手腕部動作之辨識，進一步識別鍵盤輸入、滑鼠點控、手腕晃動、與靜止等操控電腦動作(3)將識別出之操控電腦動作利用 CC2430 ZigBee 模組以無線方式傳輸至 ZigBee 無線感測網路。

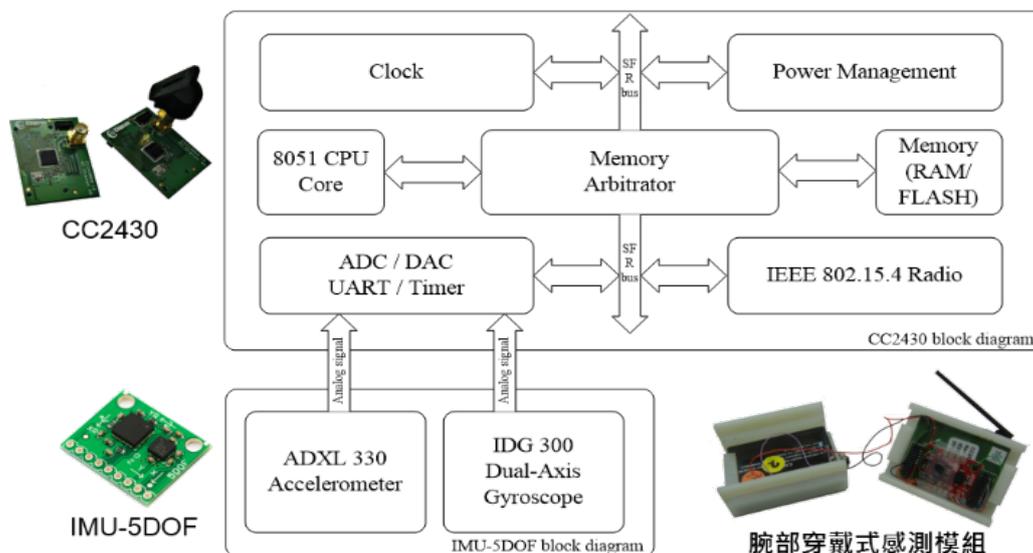
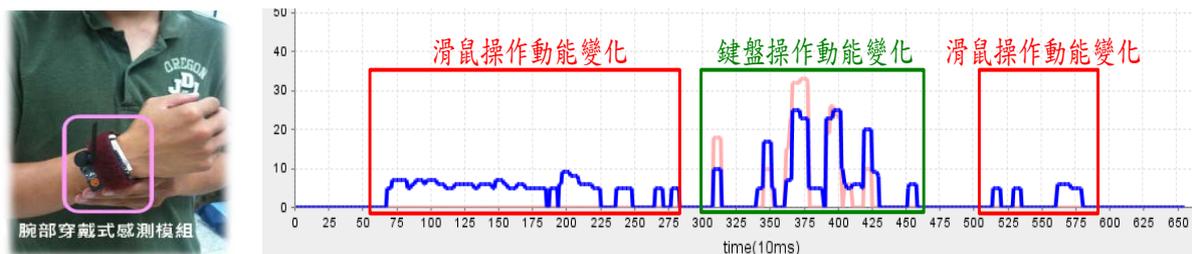


圖 3 腕部穿戴式感測模組使用元件與電路方塊圖

(二) 辨識演算法設計

1. 腕部動能感知測試實驗

由於電腦功能執行多是利用鍵盤配合滑鼠依序操作而成，而手腕操作鍵盤與滑鼠時之律動方式具有明顯的差異。圖4為操作鍵盤與滑鼠時，透過實際穿戴「腕部穿戴式感測模組」(如圖4(a))偵測腕部動能之原始數據(raw data)變化情形，藍色折線為水平動能變化量，粉紅色折線為垂直動能變化量(如圖4(b))。結果可知操作鍵盤時，腕部動作包含水平移動至按鍵上方與垂直按下按鍵兩種動作，因此水平與垂直的動能變化量皆有明顯的改變；操作滑鼠時，腕部緊貼滑鼠透過水平移動進行功能點擊的動作，因此僅有水平動能產生明顯變化。藉由此實驗結果推斷，透過動能感測器三軸動能變化之偵測，當操作一項電腦功能時，可精準地判斷出滑鼠與鍵盤交替使用之順序。



(a)腕部穿戴式感測模組實際穿戴方式 (b)操作鍵盤與滑鼠之腕部動能原始數據變化情形

圖4 腕部動能感知測試實驗

因此，假設教學者可根據某項電腦功能在操作鍵盤與滑鼠之順序，設計一套標準操作步驟進行教學，而教學者可將自身依序操作滑鼠與鍵盤所產生的動能變化作為範本，而在每位銀髮族學員操作時，依據其操作滑鼠與鍵盤順序產生之動能變化進行比對，則可以得知銀髮族學員的學習狀況。為驗證上述推論之可行性，本論文以常見「使用 google 網頁搜尋網路上的資料」之銀髮族電腦教學課程，設計一套簡單且標準操作步驟如下：

- (1)移動滑鼠點擊瀏覽網頁軟體程式，在移動滑鼠點擊搜尋輸入區。(滑鼠，如圖5(a))
- (2)滑鼠移動至搜尋關鍵字輸入區域再以鍵盤輸入搜尋關鍵字，並按Enter鍵。(滑鼠+鍵盤，如圖5(b))
- (3)移動滑鼠點擊相關資料網頁連結。(滑鼠，如圖5(c))



(a)操作滑鼠

(b)操作滑鼠與鍵盤

(c)操作滑鼠

圖5 使用 google 網頁搜尋網路資料的銀髮族電腦教學操作步驟

依照上述之教學步驟，本論文由一位電腦教學者配戴「腕部穿戴式感測模組」將上述操作步驟依序完成，而將「腕部穿戴式感測模組」所感應到之操作滑鼠與鍵盤動能原始數據變化作為範本。此外，亦由三位對於電腦熟悉程度不同之銀髮族學員配戴「腕部穿戴式感測模組」並進行上述步驟之實際操作，用以記錄學員操作所產生之動能原始數據變化作為對照。圖 6 分別為教學者的操作動能原始數據範本與三位 65 歲以上之銀髮族學員實際操作動能原始數據情形。由觀察比較得知，學員 A 完成操作時間較範本操作時間長，但能成功依序完成指定步驟，因此可判別其學習狀況良好；學員 B 起始步驟正確，但在操作鍵盤時出現打字障礙，無法在規定練習時間內完成所有步驟；學員 C 剛開始即未依照標準操作步驟，至終無法完成練習。

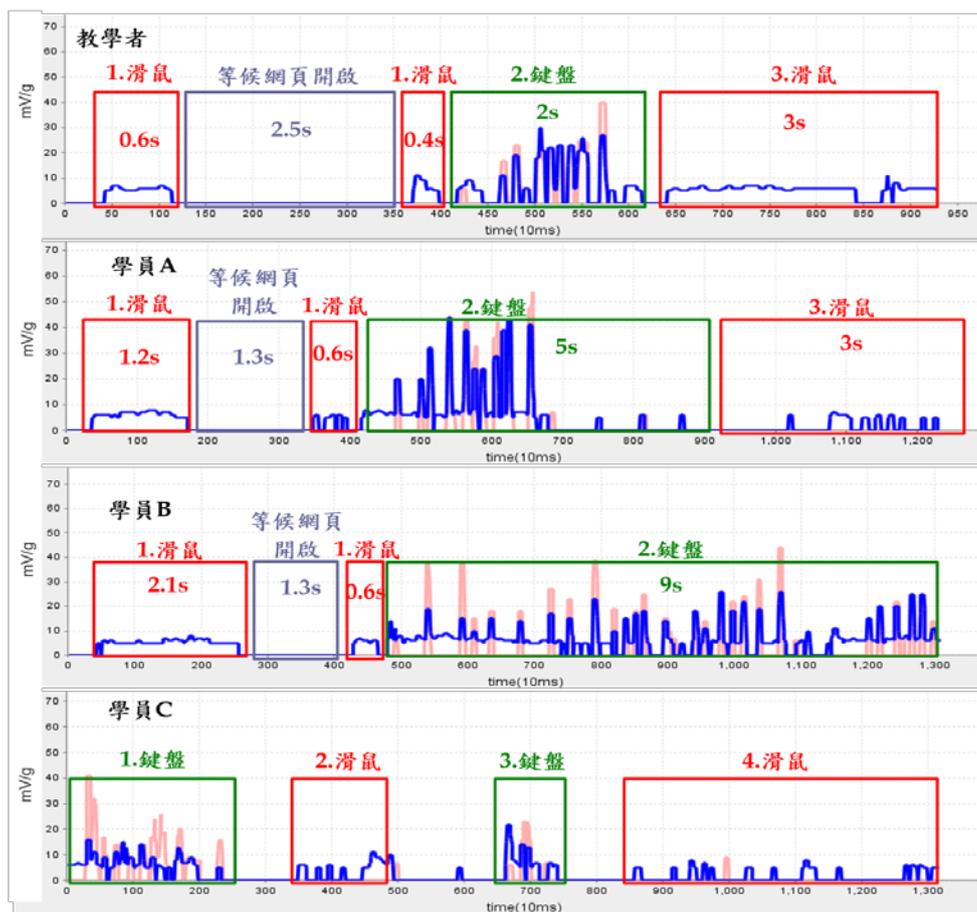


圖 6 教學者與三位 65 歲以上之銀髮族學員實際操作電腦之狀態與原始數據變化對應情形

2. 辨識演算法

由先前實驗得知滑鼠與鍵盤操作會呈現截然不同之腕部動能原始數據變化。而觀察銀髮族於學習操作電腦時，腕部動作除了呈現滑鼠與鍵盤操作事件外，亦包含靜止(思考如何做)與異常用動(無法理解教學步驟)之腕部動作行為。因此，本論文藉由觀察「腕部穿戴式感測模組」於銀髮族操作電腦時所產生 X, Y, Z 三軸之原始數據變化與對應實際之電腦操作動作，由於 Z 軸為垂直軸變化(已於文章補充)，透過手腕垂直軸變化分類後，再判斷 X, Y 軸之水平移動，即可辨識銀髮族電腦操作四種事件 (即：鍵盤輸入、滑鼠點控、異常用動與靜止)之辨識演算法，其中決策樹參考數值主要經由多次實驗而得(如圖 7)。此外，為了避免動能值因微小差異造成操作事件辨識結果在短時間內頻繁地變動。因此，每當決策樹判斷出當下之操作事件，便累積該事件之次數。接著利用前一段取樣時間每個事件觸發所累積的次數，進而推算出過去每個事件發生機率(p)。最後根據當下所發生事件配合該事件過去發生機率利用公式 $P = \alpha c + (1 - \alpha)p$ 得到此事件當下發生機率(P)，其中 $c(c=1)$ 為該事件發當下發生之機率， $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 為調和係數。而其他

未發生事件之當下發生機率則等於過去發生機率。藉此將具有最大的當下發生機率之操作事件作為辨識結果輸出。此方法不但能精準且穩定地辨識銀髮族學員操作教案之流程，亦可推算每個操作事件之順序與佇留時間，以評估學員對於該教案之學習狀態。

3. 動能樣板

相較於先前腕部動能感知測試原始數據圖形輸出(圖 6)，由於透過演算法辨識後，「腕部穿戴式感測模組」可直接傳輸辨識事件(非原始數據)至平台電腦，因此平台電腦可透過軟體設計直接顯示與紀錄腕部動能樣板(圖 8)，即電腦使用者操作電腦滑鼠與鍵盤的過程、時間長度、與順序之時序圖。如圖 8 所示，該腕部動能樣板共包含 $J=5$ 個操作順序，其中每個操作順序代表某個電腦操作事件之持續週期時間。

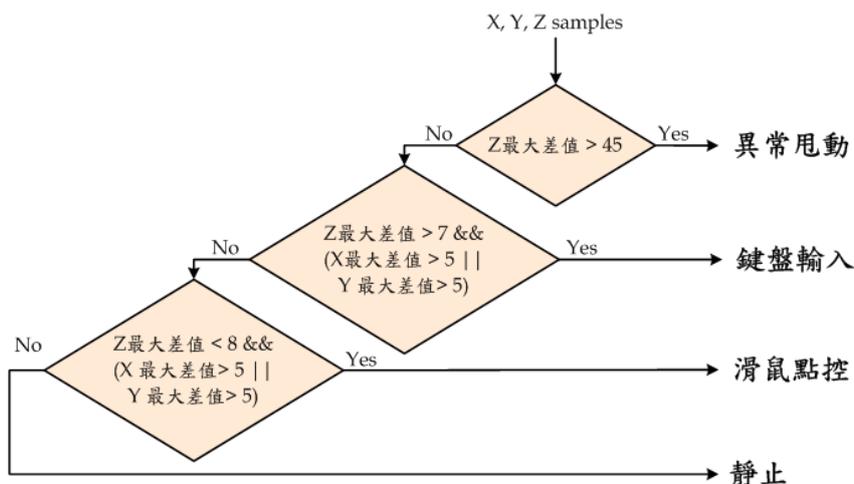


圖 7 滑鼠與鍵盤操作事件判斷決策樹(X,Y,Z 為動能感測器之感測三軸)

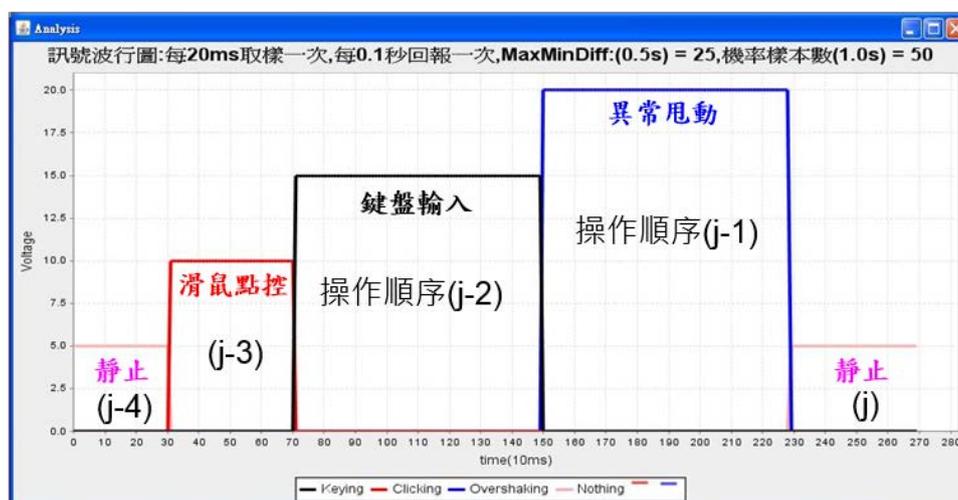


圖 8 平台電腦顯示與紀錄之腕部動能樣板

三、教學輔助成效判讀平台

(一) 硬體實現

教學輔助成效判讀平台伺服器以 CC2430 SmartRF04EB 開發板作為接收「腕部穿戴式感測模組」所傳輸電腦操作事件的後端基地台(Base Station)，如圖 9，並透過 USB 介面與基地台溝通以取得基地台所接收到的事件資料。



圖 9 教學輔助成效判讀平台之 ZigBee 基地台

(二) 判讀演算法設計

在開發伺服器判讀演算法設計的部份，伺服器除了必需結合 CC2430 SmartRF04EB 基地台之外，伺服器本身還需要能擁有資料庫儲存由基地台接收的訊息。而在伺服器本身基本上具備了較好的處理能力及較大儲存空間，為了能在有效率的開發系統的前提之下，在伺服器端本研究選用 Java 程式語言，因其具備了物件導向、安全性、網路相容、資源回收處理 (garbage collection)、例外處理 (exception) 等優點。此外搭配 Jbuilder 進行開發 Java 程式，Jbuilder 內建 Swing UI 設計程式，可用於視覺化 GUI 建構，以及輕鬆移轉舊版 JBuilder 的設計專案，讓 Java 程式更容易開發。

1. 腕部動能樣板比對

腕部動能樣板比對主要目的是於教學輔助成效判讀平台端將教學者針對電腦教學教案操作所預先配戴「腕部穿戴式感測模組」感知之腕部動能樣板(稱之為參考動能樣版)與每位學員實際操作教案時所配戴「腕部穿戴式感測模組」所感測之腕部動能樣板(稱之為比對動能樣版)，兩者進行差異比較，以得知學員操作教案時所呈現之滑鼠與鍵盤順序／累計時間與教學者操作時之相似程度，藉以推斷每位學員對於該教案之熟習度。由於參考動能樣版與比對動能樣版已清楚記錄教學者與每位學員教案操作之滑鼠鍵盤切換順序與佇留時間。因此，可藉由下列絕對差值總和計算公式(1)得到得知學員 i 操作教案時，與教學者之相似程度，即：

$$SAD_i = \begin{cases} \sum_{j=0}^n |T_j - S_{ij}|, & \text{若學員 } i \text{ 與教學者之樣板於順序 } j \text{ 具有相同腕部姿態} \\ \sum_{j=0}^n \text{MAX}(T_j, S_{ij}), & \text{若學員 } i \text{ 與教學者之樣板於順序 } j \text{ 之腕部姿態不同} \end{cases} \quad (1)$$

其中， T_j 為教師參考動能樣版操作順序 j 之電腦操作事件時間， S_{ij} 為學員 i 之比對動能樣版操作順序 j 之電腦操作事件時間。若 SAD_i 值越小則表示教案操作行為越接近教學者，可推論學習狀況越佳；反之則否。

2. 學習成效分析

藉由公式(1)將每位學員實際操作教案電腦之比對動能樣版與教學者之參考動能樣版進行相似度比對，獲得 SAD_i 值後，可進一步利用本論文所提出之模糊評分公式展開學習成效評分作業，最後利用模糊規則判讀學習成效。模糊評分公式應用概念乃將學員 i 之 SAD_i 值帶入值域在 $[0, 100]$ 區間之 Z-type 函數中，而此函數具有當 SAD_i 值越小時，輸出評分越接近 100 之特性。因此，學員 i 學習表現越好所呈現之 SAD_i 值越小，則獲得評分 G_i 越接近 100 分，公式如下：

$$G_i = \frac{1}{1+x} \times 100, x \in [0, \infty) \quad (2)$$

其中：

$$x = \frac{SAD_i}{\text{教學者於該教案之滑鼠與鍵盤操作總時間}} \quad (3)$$

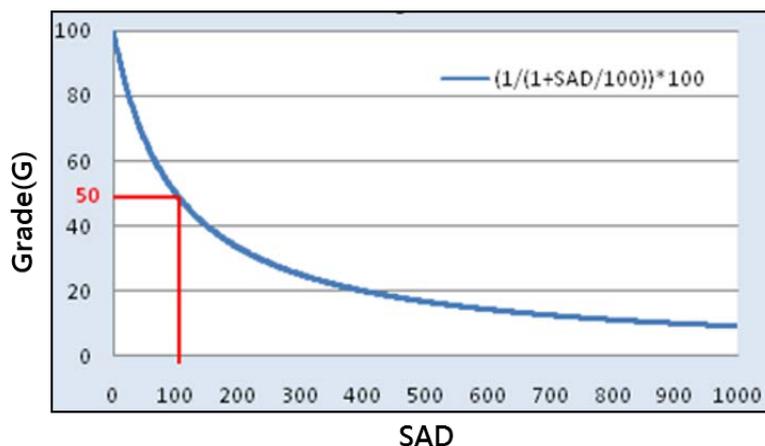


圖 10 $x=SAD/100$ 之 Z-type 函數變化

圖10為公式(2)於 $x=SAD/100$ 時，隨著SAD變化之線圖。由圖可知，SAD越小，評分越接近100分；若SAD等於100時，則可推斷學員之操作結果，不管是與老師的操作時間，或是操作滑鼠鍵盤順序皆有較大之出入，因此僅能到50分。再得到每個學員之評分 G_i 值後，本論文利用以下之設定之模糊驗算法(Algorithm 1)使得教學輔助成效判讀平台可直接判讀學員之學習成效：

Algorithm 1 :

If $G_i \geq 90$ then 學員 i 表現非常好；

If $G_i \geq 80$ and < 90 then 學員 i 表現良好；

If $G_i \geq 60$ and < 80 then 學員 i 表現正常；

If $G_i \geq 50$ and < 60 then 學員 i 表現不良；

If $G_i < 50$ then 學員 i 表現非常不良；

肆、系統確效驗證

一、系統建置

為驗證本研究所設計之系統成效，本論文於台南市某電腦教育機構實際布建「腕部穿戴式裝置與其系統」，並於課堂上讓參與實驗的學員分別穿戴上「腕部穿戴式感測模組」以實際測試系統是否可確實判別學員之學習成效。系統之實際布建網路如圖 11 所示，於實際教室中布建 ZigBee 網路，包含一個 ZigBee 基地台與教學者電腦連接並於教學者電腦端安裝本論文所開發之教學輔助成效判讀軟體平台、而網路路由器(Router)與數枚穿戴在學員身上的終端節點(即腕部穿戴式感測模組)所組成。

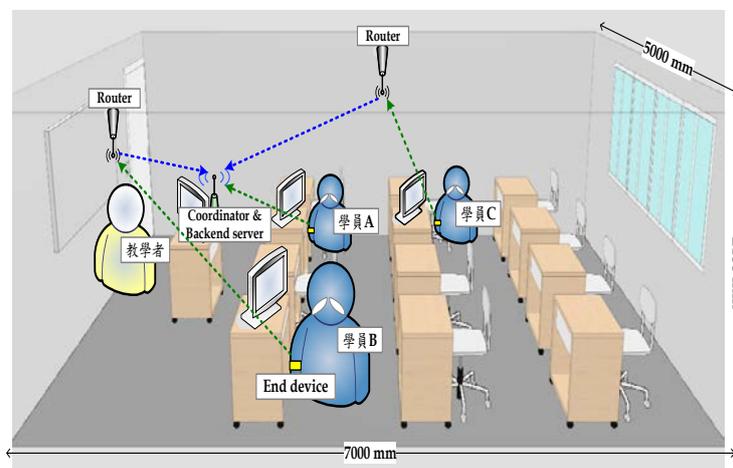


圖 11 系統建置環境示意圖



圖 12 學員於某一文教機構內配戴「腕部穿戴式感測模組」並操作電腦教案之實際狀況

二、實驗設計

教案設計部分，本實驗使用如圖 5 之電腦教學課程(即使用 google 網頁搜尋網路上的資料)，並設計相同之標準操作步驟，由電腦教學者先行配戴「腕部穿戴式感測模組」並依照實際上課方式執行課程之標準操作步驟以使得教學者電腦所安裝之教學輔助成效判讀軟體平台可先預先記錄並儲存參考動能樣版。於該教案電腦教學時，當電腦教學者依照標準操作步驟完成圖 5 之教案教學後，每位學員應要求分別操作該教案而每次教案操作必須於規定時間 30 秒內完成。圖 12 為學員於某一文教機構內配戴「腕部穿戴式感測模組」並操作電腦教案之實際狀況。

三、實驗結果

為驗證系統可辨識不同電腦程度之學員學習狀態，本論文首先於機構之學員中篩選三位學員接受測試，分別為：學員 A(電腦學習與理解能力佳)、學員 B(電腦操作理解力佳，但動作較緩慢)與學員 C (電腦學習與理解能力略為不足)。此外，由該教育機構之電腦教師擔任本次實驗之電腦教學者(29 歲、男性)。圖 13 為後台電腦顯示教學者與每位學員實際操作電腦之參考動能樣與比對動能樣板變化對應情形。由比較得知，學員 A 之操作雖然每個步驟所花費時間較長，但流程完全符合教案之三步驟需求，因此可判別其學習狀況良好；學員 B 起始的滑鼠點控步驟正確，但在操作鍵盤輸入時，出現打字障礙，無法在規定練習時間內完成所有步驟；學員 C 則剛開始即未依照教案程序操作，腕部甚至出現用力甩動之行為，至終無法完成練習。

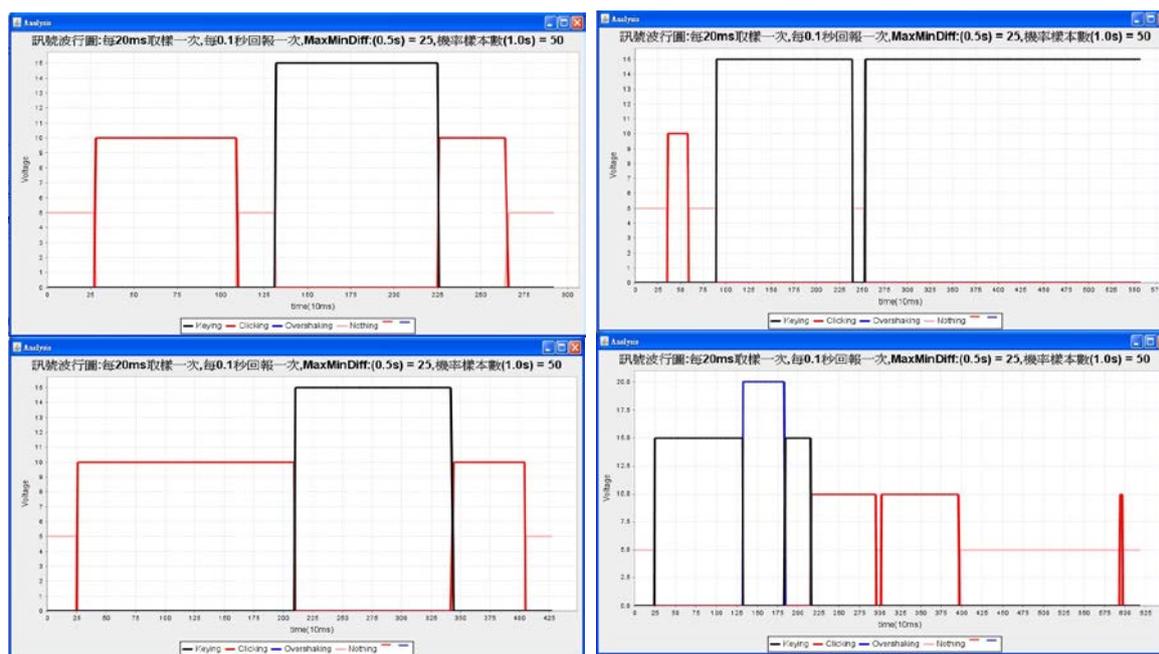


圖 13 教學者與三位學員實際操作電腦之動能樣板變化對應情形

表 1 為後台電腦針對參考動能樣板與每個比對動能樣板進一步使用絕對差值總和計算公式(1)與模糊評分公式(2)所評估之結果。由絕對差值總和(SAD_i)可量化每個學員之電腦學習能力：學員 A 能力最佳，因此 SAD 最小，表示操作能力最接近教學者；學員 B 之能力尚可，但具有打字障礙，因此 SAD 略大；學員 C 之 SAD 值表現最大。再進一步將每個學員之 SAD 值帶入公式(2)，即可得到每個學員之模糊評分(G_i)，該評分即代表學員於學習成效之優劣。經由本論文所提出之模糊規則分類，教師於電腦後台即可立即得知學員 A, B, 與 C 之各別學習成效判讀結果為良好、正常、與不良。因此教學者可直接得知每位學員之學習成效，即時了解多個學員學習狀況，進而對於出現程度不同學習障礙的學員主動因材施教，加強個別輔導，改善操作學習的問題。

表 1 學員 A, B, 與 C 之學習成效判別結果

電腦教學者(T _j)	學員 i(=A)		學員 i(=B)		學員 i(=C)		
	S _{ij}	SAD	S _{ij}	SAD	S _{ij}	SAD	
順序(j=1)：滑鼠	3.5s	4.6s	1.1s	0.5s	3s	7s	7s
順序(j=2)：鍵盤	5s	5.5s	0.5s	11s	6s	16.3	16.3s
順序(j=3)：滑鼠	2.1s	2.5s	0.4s	2.6s	0.5s	6.4s	6.4s
絕對差值總和(SAD _i)	2s		9.5s		29.7s		
模糊評分(G _i)	84.1		63.8		35.5		
學習成效判讀	良好		正常		不良		

為進一步驗證本論文所設計系統之正確性，本論文於教育機構將與學員 A, B, C 具有相同之電腦熟悉程度之學員分類並集合一同教學；與學員 A 具有相同之電腦熟悉程度之學員稱之為 A 類學員，以此類推，而每類共有 30 位學員。圖 14 為各類中每位學員針對教案實際操作電腦所花費電腦操作順序之時間統計圖。由於每類共有 30 學員為受測者，因此本實驗取每類 30 位學員之平均並計算標準差與信賴區間，誤差率在±5%之內，與教學者之參考動能樣板進行絕對差值總和、模糊評分、與學習成效判讀。由表 2 得知每類學員電腦學習能力可反應於平均 SAD 值之上，由於分類中 A 類學員能力最佳，因此平均 SAD 最小，平均得分皆在 80 分之上，學習表現良好，相較於學員 B 與 C，其該教案執行能力最接近教學者；而學員 B 之能力尚可，且多數具有打字障礙，故較大差異量顯現於鍵盤，因此反映出平均 SAD 略大，平均接近 62 分；C 類學員之 SAD 值表現最大，不論是滑鼠或是鍵盤操作皆具有相當大的差異量，因此平均得分 49.5 分，表現不佳，需要教學者更進一步地個別輔導。

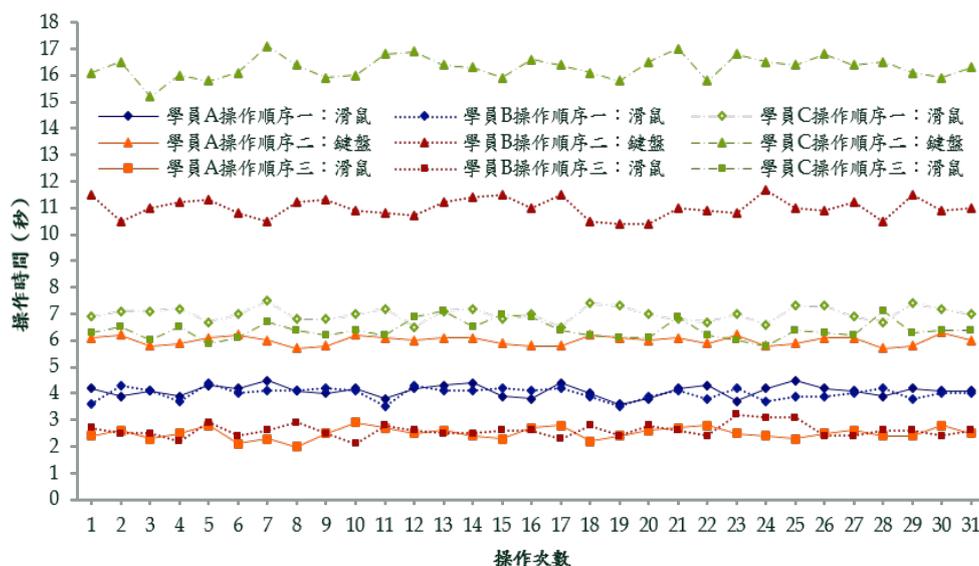


圖 14 各類 30 學員之電腦操作步驟時間

表 2 A、B 與 C 類學員之學習成效判別結果

電腦教學者(T _i)	學員 i(A 類, 30 位)		學員 i(B 類, 30 位)		學員 i(C 類, 30 位)		
	(平均)S _{ij} / 標準差	(平均)SAD / 標準差	(平均)S _{ij} / 標準差	(平均)SAD / 標準差	(平均)S _{ij} / 標準差	(平均)SAD / 標準差	
順序(j=1): 滑鼠	3.5s	4.5s / ±0.23s	1s±0.2s	4.3s±0.1s	0.8s±0.1s	8.2s±0.25s	4.7s±0.25s
順序(j=2): 鍵盤	5s	6.2s / ±0.3.1s	1.2s±0.3s	10.8s±0.2s	5.8s±0.2s	18.3s±1s	13.3s±1s
順序(j=3): 滑鼠	2.1s	2.7s / ±0.17s	0.6s±0.15s	3.2s±0.11s	1.1s±0.11s	7.8s±0.16s	5.7s±0.16s
平均絕對差值 總和(SAD _i)		2.8s±0.65s		7.7s±0.41s		23.7s±1.41s	
平均模糊評分 (G _i)		82.9±4.1		61.8±1.5		49.5±3.8	
團體學習成效 判讀		良好		正常		不良	

伍、結論

本篇論文設計與實現一個可應用銀髮族電腦教學之「腕部穿戴式裝置與其系統」，以輔助電腦教學者於電腦教學時，快速辨識銀髮族學員之學習狀態。藉由配戴「腕部穿戴式感測模組」銀髮族學員之電腦操作事件，可經由無線網路傳輸至位於電腦教學者之「教學輔助成效判讀平台」。「教學輔助成效判讀平台」於接收到電腦操作事件後，即進行參考動能樣版與比對動能樣版之差異性比較，並經由本論文所提出之辨識演算法，即時分辨每位銀髮族學員之學習狀態。經由佈建系統並實際實驗於電腦教育機構所得之實驗結果，可驗證本論文所提出之系統若搭配設計教案之標準操作步驟，確實可以有效的輔助電腦教學者，快速的判斷出每位配戴「腕部穿戴式感測模組」銀髮族學員之電腦學習成效。

本論文之研究成果可作為未來銀髮族電腦輔助教學系統設計之參考，藉由創新之穿戴式科技應用，搭配簡易之教學教案與設計標準操作步驟，將創造銀髮族電腦教學之新的學習體驗與教學服務。此外，將穿戴式科技導入銀髮族電腦教學領域，未來所衍生之電腦技能訓練產業亦可獲利，將創造國家、產業、與銀髮族群三贏之契機。

參考文獻

- [1] A. Smith. (2014/4/3). *Older Adults and Technology Use*, retrieved from: <http://www.pewinternet.org/2014/04/03/older-adults-and-technology-use/>
- [2] Office for National Statistics. (2015/8/6). *Statistical Bulletin: Internet Access - Households and Individuals, 2015*, retrieved from: http://www.ons.gov.uk/ons/dcp171778_412758.pdf
- [3] Ministry of Internal Affairs and Communication. (n. d.). *Statistics Bureau and the Director-General for Policy Planning (Statistical Standards)*, retrieved from: http://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/seido/guide/2011ver/07.htm.
- [4] M. Kitano. (2007/9/12). *Japan eyes robots to support aging population*, retrieved from: <http://www.reuters.com/article/us-japan-ageing-robots-idUST27585420070912>
- [5] S. Timmermann. (2000). The Role of Information Technology in Older Adult Learning, *New Directions for Adult and Continuing Education*, 1998(77), 1-87.
- [6] H. Yoon, Y. Jang, and B. Xie. (2015). Computer use and computer anxiety in older Korean Americans, *Journal of Applied Gerontology*, 35(9), 1000-10.

- [7] N. E. Wolfson, T. M. Cavanagh, and K. Kraiger. (2013). Older adults and technology-based instruction: Optimizing learning outcomes and transfer, *Academy of Management Learning & Education*, 13(1), 26–44.
- [8] N. Wagner, K. Hassanein, and M. Head. (2010). Computer use by older adults: A multi-disciplinary review, *Computers in Human Behavior*, 26(5), 870–882.
- [9] K. W. Schaie. (2004). *Cognitive aging*. In R. W. Pew & S. B. V. Hemel (Eds.), *Technology for adaptive aging* (41-63). Washington, DC: National Academies Press.
- [10] M. Verduyssen. (1997). Movement control and speed of behavior. In A. D. Fisk & W. A. Rogers (Eds.), *Handbook of human factors and the older adult* (55-86). Cambridge, MA: Academic Press.
- [11] J. C. Marquié, L. Jourdan-Boddaert, and N. Huet. (2002). Do older adults underestimate their actual computer knowledge? *Behaviour & Information Technology*, 21(4), 273–280.
- [12] S. J. Czaja and C. C. Lee. (2003). Information technology and older adults. In A. Sears and J. A. Jacko (Eds), *The Human-computer Interaction Handbook (2nd ed.)* (777-792). Boca Raton, FL: CRC press.
- [13] K. Laguna and R. L. Babcock. (1997). Computer anxiety in young and older adults: Implications for human-computer interactions in older populations, *Computers in Human Behavior*, 13(3), 317–326.
- [14] K. S. Birdi and D. Zapf. (1997). Age differences in reactions to errors in computer-based work, *Behaviour & Information Technology*, 16(6), 309–319.
- [15] O. D. Lara and M. A. Labrador. (2013). A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors, *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 15(3), 1192-1209.
- [16] G. Acampora, D. J. Cook, P. Rashidi, and A. V. Vasilakos. (2013). A Survey on Ambient Intelligence in Healthcare, *Proceedings of the IEEE*, 101(12), 2470-2494.
- [17] M. Billingham. (1999). New ways to manage information, *Computer*, 32(1), 57–64.
- [18] M. Balestrini, D. Hernández-Leo, R. Nieves, and J. Blat. (2014). Technology-supported orchestration matters: Outperforming paper-based scripting in a jigsaw classroom, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), 17–30.
- [19] W. Stork, M. Divitini, S. Mora, and M. Lars. (2015). Context Becomes Content: Sensor Data for Computer-Supported Reflective Learning, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(1), 111–123.
- [20] H. Nakasugi and Y. Yamauchi. (2002/12/3-6). Past viewer: Development of wearable learning system for history education, in *Proceedings of the International Conference on Computers in Education (ICCE02)*, 2, 1311-1312.
- [21] IDG300 Gyroscope. (n. d.). Retrieved from: <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/3-axis/>.
- [22] ADXL330 Accelerometer (n. d.). Retrieved from: <http://www.analog.com/en/mems-and-sensors/imems-accelerometers/adxl330/products/product.html>.