

開創智慧新生活—— 創新數位內容研究中心 開發模組化穿戴式慣性感測系統

資料提供／創新數位內容研究中心：王振興教授、許煜亮博士

電影「鋼鐵人」如何能夠飛天鑽地、活靈活現？其實靠的就是人體動作捕捉技術。而成大「創新數位內容研究中心」目前所開發的「模組化穿戴式慣性感測系統（俗稱全身軌跡重建系統）」，能感測、記錄全身軌跡，然後再透過演算法重建。

成大「創新數位內容研究中心」教授王振興指出，微機電的發展，讓穿戴式載具得以微小化、靈活配戴與使用，「模組化穿戴式慣性感測系統」是將感測器佈建到身體每一個部位，將所有部位活動記錄下來，再透過後段演算法重建活動，整合真實和虛擬，可用於電腦遊戲製作、軍事訓練、醫療復健、運動訓練、遠端監控等。

什麼是「人體動作捕捉感測系統」？

一般常見的人體動作捕捉感測系統，大部分是利用視覺感測、磁力場感測或超音波感測技術，使用時必須在特定室內空間中方能完整地擷取與重建三維空間的動作，非但限制了使用者的動作種類、大小及自由度，亦大大地降低了其實用性。為了改善上述缺失，成功大學王振興教授帶領的「創新數位內容研究中心」開發「模組化穿戴式慣性感測系統」，透過微控制器整合慣性感測晶片及通訊介面，結合自行研發的動作軌跡重建演算法及互動虛擬實境應用軟體來加以進行人體建模並即時重建人體動作軌跡。

模組化穿戴式慣性感測系統中的慣性感測電路模組，包含了微控制器、加速度計、陀螺儀及磁力計。身體感測網路是透過控制器區域網路(Controller Area Network, CAN-bus)進行人體各部位上各個慣性感測電路模組之慣性感測訊號整合，並可用以量測人體各部位在三維空間中運動所產生之加速度、角速度及磁場感測值。此即時人體動作重建系統，藉由配戴在軀幹上的主感測器以藍芽或射頻無線傳輸的方式，將慣性感測訊號傳送至電腦端，進行人體姿態估測。為了降低慣性感測器訊號的雜訊及飄移在姿態估測上所造成的姿態誤差，王振興教授研究團隊也發展基於四元數的非線性互補

式濾波器來融合慣性感測訊號，並且利用一球旋轉座標系統來描述三維空間關節的旋轉並有效地改善肩關節活動度的量測精準度。

相較於傳統的人體動作捕捉感測系統，這套全身軌跡重建系統，具有高精準度、小體積、低成本及環境不設限在室內等特性。並且與多位醫師合作，廣泛應用在術後復健，配戴在身上藉以評估復健後的改善情形，再依據復健評估結果改善配合用藥，讓治療更有效果；也應用在偏遠地區，或是長期復健的需求者，可以在居家環境中進行復健，醫師則在遠端觀察並

且指導復健課程或動作，讓復健之途更順暢更有效率。

「人體動作捕捉感測系統」 目前的發展以及未來的目標

近年來，人體動作捕捉技術(human motion capture technology)在監視、控制、醫療診斷分析、人機介面及虛擬實境等相關領域中具有相當廣泛的應用。動作捕捉技術利用動作捕捉系統提供即時性的資訊，這些資訊包含人類肢體動作中隨著時間變化而產生的肢體姿態與角度變化，因此可利用此資訊重建人類肢體動作。一般常

穿戴式慣性感測系統在生活上的應用



見的人體動作捕捉重建系統大部分是利用視覺感測、磁力場感測或超音波感測技術，使用時必須在特定室內空間中方能完整地擷取與重建三維空間的動作，其非但限制了使用者的動作種類、大小及自由度，且其硬體設備與分析軟體皆所費不貲，一般人難以負擔；以上種種原因大大地降低了現今人體動作捕捉重建系統的實用性。因此，如何透過功能完整之單晶片，整合週邊的感測器電路以及通訊介面，形成價格低廉但硬體規格完整之穿戴式慣性感測系統，並將其應用於遠距監控/室內導航、關節活動度量測、雲端復健、日常生活姿態分析及運動訓練等領域，此乃為本研究之目標。

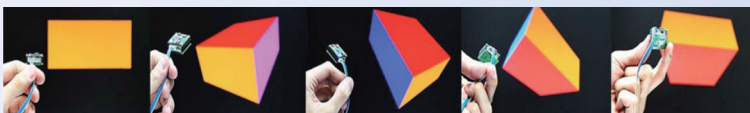
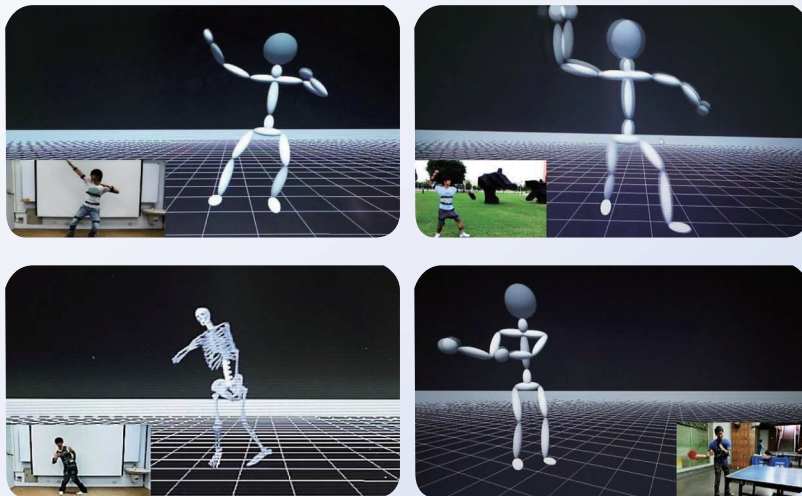
簡述「穿戴式慣性感測系統」系統的運作原理

穿戴式慣性感測系統因需要收集並整合全

身各個軀幹的慣性感測訊號來源(11個慣性感測電路模組)、供給慣性感測電路模組電源、通訊介面及儲存裝置；因此在單晶片上需具備完整之硬體週邊，如控制器區域網路(CAN-bus)、序列傳輸週邊等。而STM32系列支援各式標準的通訊介面及內建控制器區域網路，因此本研究採用STM32作為本穿戴式慣性感測系統之系統核心，實現了利用慣性訊號重建人體動作的穿戴式全身軌跡重建系統。本團隊透過STM32內建的I2C介面對加速度計、陀螺儀、磁力計進行取樣獲得人體在三維空間中運動所產生之加速度、角速度及磁場感測值。我們亦透過控制器區域網路(CAN-bus)，用以進行穿戴式慣性感測系統中所有感測器的同步化、感測訊號整合及電源供給。當使用者欲進行動作重建時，可透過藍芽或射頻無線傳輸將資料傳輸至個人電腦，配合應用軟體重建運動動作。

在應用上，本系統可偵測使用者長時間

運動時所產生之慣性感測訊號，透過藍芽或射頻無線傳輸介面將使用者運動慣性感測訊號傳輸至個人電腦後透過動作軌跡重建演算法進行動作重建，再進行相關應用。



慣性感測電路模組之姿態變化結果呈現

「穿戴式慣性感測系統」商機無窮

人體動作捕捉技術是近年來相當熱門的一個產業技術。現今市面上的人體動作捕捉系統產品，如美國Vicon公司所推出Vicon MX是由多台高速攝影機結合紅外線LED架設在固定的場域中，而使用者在身上配戴多顆反光球作為標記，其捕捉到的人體動作資料雖然相當精準但卻只能在固定的場域中，且價格十分昂貴；另外，由美國微軟公司所推出的Kinect雖然不需配戴任何標記物，但其易受周遭環境影響使得精準度不佳、運算複雜度高使得反應不夠即時且其運動空間皆被限制在一定範圍內。

近年來，由於微型慣性感測器在微機電製程的突破技術上已臻成熟，使慣性感測器穩定度大幅提升、體積縮小及價格降低。根據統計，慣性感測器在2012年於消費電子市場產值將達到32.2億美元。在日常生活中許多家用電子不乏有微型慣性感測器的存在，例如：計步器、iPhone手機、任天堂Wii、電腦硬碟及汽車安全氣囊中的加速度計等。因為微型慣性感測器的低成本、小體積、輕重量及低耗能等特

性，以慣性感測器為主的穿戴式裝置現今已成功地應用於人類各部位肢體上，如手部姿勢辨識、步伐/步行姿態偵測、跌倒偵測、熱量消耗、動作辨識等。除了這些成功的應用外，穿戴式人體動作捕捉重建系統是目前非常新穎且具有挑戰性的議題。相較於傳統的人體動作捕捉重建系統，利用慣性感測器來進行人體動作重建，其具有高精度、小體積、低成本及環境不設限在室內等特性。目前市售以慣性感測為主的人體動作捕捉重建系統包含了國外Xsens及Animazoo這兩間公司所生產的慣性感測系統。其中Xsens公司提供了MVN系統，這套系統在全身上下配戴共包含了17顆MTx慣性感測模組，可提供全身六個自由度的動作追蹤，並可進行無線傳輸；目前整套要價MVN系統約需新台幣2,800,000元，其缺點在於定價過高。另外，Animazoo公司提供了IGS-190系統，此系統在全身裝置了18顆陀螺儀，可即時呈現擷取結果；目前整套系統約需新台幣1,280,000元，其缺點在於無法精準重建人體動作。由此可知，目前市售的慣性感測人體動作捕捉重建系統皆

表1 全身動作捕捉重建系統比較表

	Xsens: MVN系統	Animazoo: IGS-190系統	穿戴式慣性感測系統
功能	提供全身動作追蹤	提供全身動作追蹤	全身動作記錄與即時重建
優點	體積小、高精度、不受場域限制	體積小、不受場域限制	體積小、高精度、不受場域限制、低成本、配戴簡易
缺點	價格昂貴	價格昂貴、低精準度	
價格	NTD 2,800,000	NTD 1,280,000	NTD 16,500

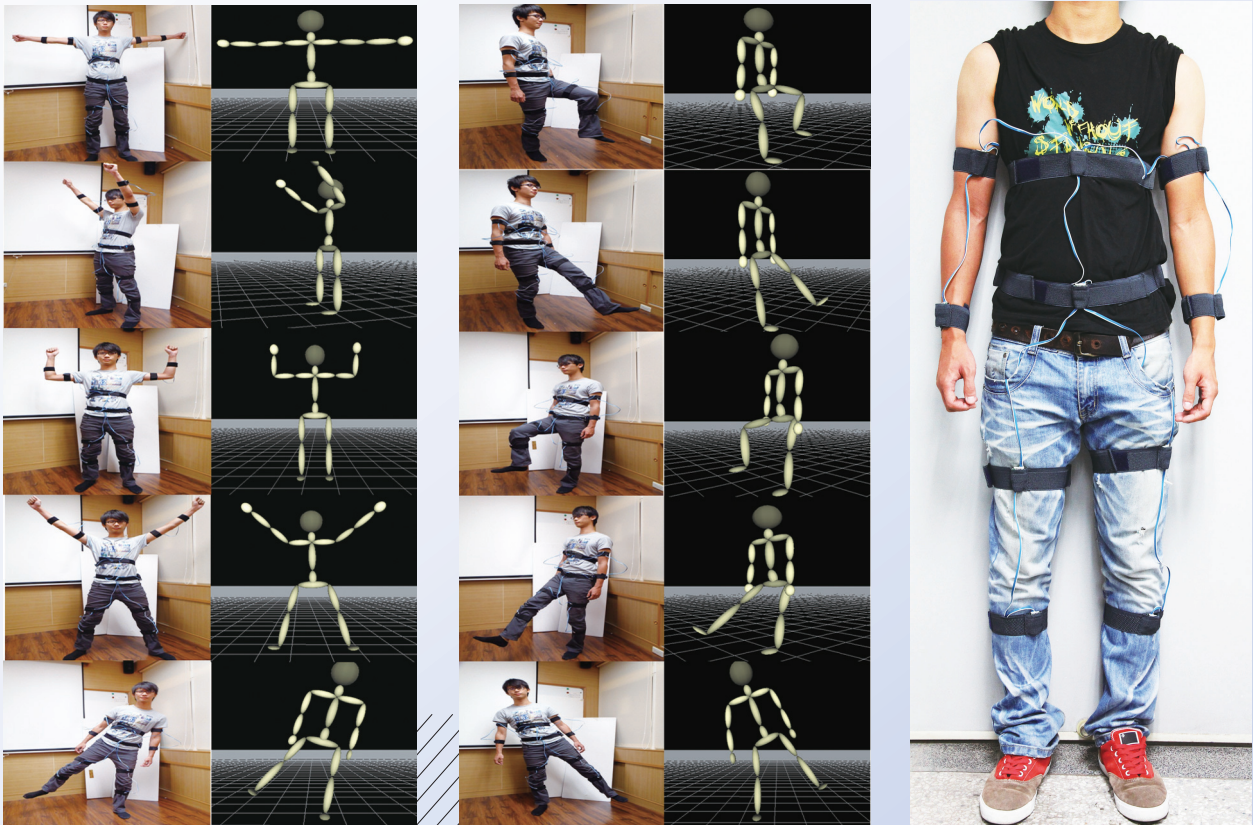
所費不貲，因而大大地降低了其實用性。

因此，如何結合日漸成熟的微機電製程技術、慣性感測技術及多功能的微控制器，製作出價格低廉、不受場地限制、便利性高且應用面廣之人體動作記錄與即時重建系統，搭配後端之應用軟體，給予使用者不同以往的體感感受，是本研究希望達成之目標。穿戴式慣性感測系統，整套系統約只需新台幣16,500元，其與市面上全身動作捕捉重建系統之比較，如表1所示。使用者配戴本穿戴式慣性感測系統於全身或欲觀測之身體部位，收集或記錄因人體

肢幹運動所產生之慣性感測訊號，並藉此重建人體運動動作。

「穿戴式慣性感測系統」操作說明

穿戴式慣性感測系統的主要功能為配戴在使用者各個肢幹部位(頭部、上臂、下臂、前胸、腰部、大腿、小腿)上的慣性感測電路模組(副感測器)用以偵測使用者各個肢幹部位運動時所產生的慣性感測訊號，透過控制器區域網路(CAN-bus)傳輸至前胸的慣性感測電路模組(主感測器)，控制器區域網路(CAN-bus)主要的



慣性感測電路模組配戴圖

任務在於解決即時多個慣性感測電路模組大量資料傳輸的問題；接著，透過主感測器上的藍芽或射頻無線傳輸功能，即時地將慣性感測訊號傳輸至個人電腦，經本團隊所開發之慣性動作軌跡重建演算法後，計算出各個肢幹部位的姿態並輸入至虛擬人物對應的各個肢幹部位，並將圖形輸出於電腦螢幕上進行人體動作重建。

使用者使用此套穿戴式慣性感測系統的流程為：

將慣性感測電路模組分別配戴在頭部、上臂、下臂、前胸、腰部、大腿及小腿等部位。

按下電源開關，電源會由主感測器經由控制器區域網路(CAN-bus)驅動各個副感測器。

主感測器及各個副感測器偵測各個肢幹部位運動時所產生的慣性感測訊號，並藉由控制器區域網路(CAN-bus)匯集至主感測器。

主感測器匯集完訊號後，透過藍芽或射頻無線傳輸將慣性感測訊號即時地傳輸至電腦端。

電腦端接收到全身的慣性感測訊號後，會進行人體動作重建。

獨一無二的設計創意性

Anybody :

本系統配戴相當簡易，基本上使用者並不受限於體型上的問題。

Anytime :

本系統具有即時無線傳輸的功能，因此使用者可以在任何時間配戴此系統進行運動慣性感測訊號的收集。

Anywhere :

本系統具有可攜性，因此使用者可以不受任何場域的限制配戴此套系統。

Anymotion :

任何人(anybody)在任何時間(anytime)及任何地方(anywhere)可以配戴此套系統進行任何慣性感測訊號的動作重建。

Completeness of hardware peripheral :

由於慣性感測電路模組運用了多種週邊介面(藍芽或射頻無線傳輸及控制器區域網路)，因此慣性感測電路模組具有完整之硬體規格。

Completeness of signal collection :

使用者配戴11個慣性感測電路模組於身上，各個慣性感測電路模組可收集長時間人體在三維空間中運動時所產生的三軸加速度、三軸角速度及三軸磁場強度訊號，因此有完整的訊號可供後續訊號處理並加以重建人體動作。

Completeness of types of application :

由於本系統收集了長時間且完整運動所產生的慣性感測訊號，因此可供使用者進行多樣化的應用，例如行人導航、遊戲操控、人體復健等相關應用。

除了上述特色之外，本團隊之穿戴式慣性

感測系統之硬體及軟體皆由本團隊完成，因此具有高度之技術掌握度，可依照實際應用情境針對硬體、軟體進行修改，以符合應用情境。

參與ARM Code-O-Rama設計大賽，榮獲冠軍

由全球IP供應領導廠商ARM主辦，國家晶片系統設計中心（CIC）、意法半導體

(STMicroelectronics)協辦的校園界年度盛事2011 ARM Code-O-Rama設計大賽。當時歷經半年，超過127組隊伍激烈競爭，最後冠軍由國立成功大學電機工程系「肝鐵人」隊以「穿戴式全身動作紀錄與即時重建系統」作品，一舉囊獲。

ARM的應用架構現今廣泛的被應用於包括消費性電子產品、無線通訊、網路應用、醫療產品及工業控制等領域。而2006年開始在台



1



2



3

- 1.冠軍隊伍：肝鐵人一現場展示透過穿戴全身式感應器可讓電腦捕捉動作創造虛擬互動人物於電腦中
- 2.冠軍團隊(右起：王振興教授、許煜亮、鄭秉恩、顏銘信)與ARM全球總裁Tudor Brown合影
- 3.冠軍隊伍獲得十五萬元獎金

舉辦的ARM Code-O-Rama設計大賽，正是ARM培育在地學子的重要平台，歷年參賽學生皆設計出許多兼具創意及實用性的作品。在第六屆的ARM Code-O-Rama設計大賽，主題為「Smart Future Life YOU Design! 未來智慧生活你掌握!」，吸引了超過127組全台大專院校學子報名，歷時半年的規劃與創作，在作品的完整性與實用、創意性上，都有令人驚艷的表現。國立雲林科技大學助理教授蘇慶龍於會中表示，「該作品實用性高、且完整，充分利用處理器與各模組之連線，且極具創意，同學的口頭報告與現場成果展示也非常清楚和精彩。」

關於ARM Design Contest設計競賽

為半導體設計相關科系之大學院校學生與研究生，提供能夠應用所學的舞台，以增進學生的學習興趣，並發展其設計能力，進而培育更多有志投身相關產業之人才，提升我國積體電路之設計水準。

ARM Design Contest設計競賽已經邁入第九年，有鑒於ARM在未來互聯網蓬勃的智慧生活中扮演著關鍵的領導角色，今年ARM設計競賽特將主題訂為「攜手聯ARM 航向智慧生活」。期望能透過此一主題激發同學對未來互聯網生活的想像，舉凡食、衣、住、行、育、樂等方面之多元性發展，協助人類邁向未來智慧生活之創作，皆可作為發揮的題材。

ARM設計競賽是一個眾所矚目的技術交流平台，以實現ARM培育台灣在地半導體設計人才的願景。透過ARM設計競賽，我們將提供大專院校學生一個磨練技術與發揮創意的機會，讓台灣半導體的傑出設計人才也能有機會站上國際舞台，並進一步實現理想中的「智慧生活」。

全面啟動

「穿戴式慣性感測系統」智慧生活

近年來，人體動作捕捉技術（human motion capture technology）已成為日常生活中不可或缺的重要技術，其改變傳統體感的方式並可以應用至電影、動畫、遊戲、軍事訓練、遠距醫療、遠端監控等相關產業。

我們希冀可以將此套系統應用至下列相關應用：

運動教練健身日記-每天記錄運動的足跡，配合互動軟體提高使用者運動意願，矯正運動正確姿勢。

復健醫療療程評估-用於復健療程評估，使得評估更為快速、客觀與準確，甚至可實現居家復健。

娛樂遊戲平台應用-擺脫傳統手持式遊戲工具，全身沉浸在數位的冒險世界裡，無拘無束暢玩人生。

電影工業動畫製作-動作捕捉製作動畫在電影工業裡最大的障礙就是太過昂貴，而本套系統使得障礙大幅降低！

然而目前在此市場中，人體動作捕捉重建系統不是具有較高規格之硬體配備、所費不貲，不然就是受限於場域的問題，使其難以融入大眾消費市場。因此，本研究利用STM32的低功率特色以及多重的週邊，實現了可重建人體動作的穿戴式慣性感測系統。大大輕便了器材設備，提升了作業效率，也精省了成本花費，運用穿戴式慣性感測系統科技，來實踐嶄新的智慧生活將不是夢。