

出國報告（出國類別：進修）

行政院選送優秀公務人員國外進修
— 赴英國薩里大學進修博士

服務機關：國家通訊傳播委員會

姓名職稱：梁伯州 簡任技正

派赴國家：英國

出國期間：101 年 1 月 12 日至 105 年 1 月 16 日

報告日期：105 年 4 月 11 日

摘要

本報告主要簡介^職有幸獲選為 2011 年（民國 100 年度）「行政院選送優秀公務人員國外進修實施計畫」之博士進修人員後，於 2012 年 1 月 16 日至 2016 年 1 月 15 日假英國薩里大學（University of Surrey）進行「雲端運算」領域之研究，除扼要介紹薩里大學外，主要說明^職針對「雲端運算於數位家庭中通訊傳播服務之應用模式（use case）研究」所提出之研究主題「以行動雲端運算建構具成本效益之數位家庭即時遠距醫療監測系統之研究」、研究過程及相關研究內容，並摘述研究貢獻、心得，最後提出政策建議。

本研究所設計之概念證明系統包括病患生命徵象監測、安全監測（主要提供跌倒偵測）及活動型態監測（主要提供室內即時動態定位）等三組核心功能，在測試實驗中，成功偵測跌倒之靈敏度為 95.5%，室內即時動態定位之平均誤差為 0.47 公尺。另外亦設計了兩組模擬環境，第一組模擬環境模擬產生 10 萬名年長之慢性病患者，同時透過所建構之數學模型，模擬產生該等病患每日之日常生活活動，以及各活動對遠距醫療監測系統所產生之資料及系統雲端伺服器之工作負載，如跌倒偵測告警訊息及室內即時動態定位資訊等，並藉此模擬產生網路資料流量及系統雲端伺服器之工作負載等。第二組模擬環境則模擬真實世界中雲端伺服器的運作場景，包括雲端運算如何針對第一組模擬環境所產生之伺服器工作負載，依據本研究所提出之「前瞻性未用容量為基準之系統規模自動調整演算法」，動態進行水平擴充或水平縮減，以自動增加或減少相對應之工作伺服器數量；同時透過基準效能分析，建構雲端伺服器模擬模型；最後則透過成本效益分析及敏感度分析，與其他研究進行比較，並對模型中之相關參數進行測試，評估結果證明本研究所提系統架構，確可達成低成本、低侵犯性、高有效性、高可用性及高可擴充性等目標。

目次

| | |
|---|----|
| 一、緣起與目的..... | 1 |
| 二、過程..... | 2 |
| (一) 薩里大學 (University of Surrey) 簡介..... | 2 |
| (二) 研究主題..... | 4 |
| (三) 研究過程..... | 5 |
| 1. 研究方法..... | 5 |
| 2. 研究內容..... | 8 |
| 2-1. 數位家庭及物聯網..... | 8 |
| 2-2. 雲端運算的核心要素..... | 11 |
| 2-3. 雲端運算的經濟效益..... | 14 |
| 2-4. 雲端運算之軟體模擬工具..... | 15 |
| 2-5. 雲端多層次 (multi-tier) 應用程式之架構..... | 16 |
| 2-6. 伺服器行為 (Behaviour) 及負載執行之模型建構與模擬..... | 18 |
| 2-7. 虛擬機器之模擬模型建構..... | 21 |
| 2-8. 動態工作負載之模擬模型建構..... | 22 |
| 2-9. 負載平衡及系統規模自動調整機制..... | 26 |
| 2-10. 支援大規模遠距醫療監測應用的(行動)雲端運算之成本效益分析..... | 26 |
| 三、研究成果與心得..... | 32 |
| (一) 論文發表..... | 32 |
| (二) 研究貢獻與心得..... | 32 |
| 四、政策建議..... | 34 |
| 五、參考文獻..... | 35 |

一、緣起與目的

行政院為培育具國際視野之中高階公務人員，於 2010 年 7 月核定通過「行政院選送優秀公務人員國外進修實施計畫」，冀期透過選送具發展潛力之公務人員赴國外進修之方式，以達到提升公務人員專業知能及國際競爭力之目的。

考量雲端運算可能帶來通訊傳播產業的典範轉移及新的監理議題，以及為實踐服務機關所肩負「應鼓勵新技術及服務之發展」之核心目標，並因[■]個人對資通訊傳播科技及學術研究的嚮往與熱情，期透過不斷的學習、成長，精進通訊傳播技術專業、擴展學術歷練，有效培養個人策略規劃、管理研析之能力，爰於 2010 年 7 月依該計畫提出申請，經服務機關同意並陳報行政院後，有幸獲選為 2011 年（民國 100 年度）赴國外進修博士人員，核定應於 2011 年 10 月 15 日前出國，出國進修期間共 3 年，研究領域為「雲端運算（Cloud Computing）」，並以「雲端運算於數位家庭（Digital Home；或歐洲地區所稱之 Smart Home）中通訊傳播服務之應用模式（use case）研究」為主要進修內容，進修學校系所為英國薩里大學計算系（Department of Computing, University of Surrey；該系所名稱自 2015 年 9 月起已變更為資訊工程學系 Department of Computer Science）；隨後因[■]原訂出國前夕有數項重要業務刻正推動辦理中(包括個人獲指派出席國際會議等)，同時因所督辦業務之人力因同仁升遷調動尚待補實，故提出延期出國之申請，嗣奉行政院核定出國進修期間調整為 2012 年 1 月 16 日至 104 年 1 月 15 日。

由於研究領域涉及諸多雲端及用戶端之技術、模型建構等議題，以及對相關理論、應用程式開發、模擬模型建構（simulation modeling）、演算法（algorithm）設計及資料評析之深度理解及實踐，[■]為能完成相關研究內容，順利取得博士學位，經與指導教授充分討論，並就進修狀況、博士論文進行情形及變更進修期間之必要性等事項進行評估後，於 2014 年 7 月提出延長進修期間一年之申請，並奉行政院核定變更進修期間為 4 年，准予於延長一年期間（2015 年 1 月 16 日至 2016 年 1 月 15 日止）以自費進修方式辦理。

二、過程

本研究的完成先後歷經出國前進修學校的申請，抵校初期對相關專業領域的廣泛涉獵，學校相關課程的參與，到研究題目的確認及鑽研，乃至研討會、期刊論文的撰寫及發表，以及最終博士論文的提交及口試等，牽涉過程相當繁多，以下謹就進修學校的簡介及研究的過程、主題與內容作摘要式的說明。

(一) 薩里大學 (University of Surrey) 簡介

薩里大學 (或譯為索立大學) 成立於 1966 年，位處英國薩里郡吉爾德福 (Guildford, Surrey)，其前身為成立於 1891 年的巴特西理工學院 (Battersea Polytechnic Institute)，並自 1920 年起開始專注於科技的研究，負責為當時倫敦大學的學生授課，於 1956 年成為英國第一所獲得「先進科技學院 (College of Advanced Technology)」稱號之院校。

薩里大學以食品、生技、動物科學、觀光、醫藥、航空暨製造、電子工程等為其強項，依薩里大學網站公布資訊 (Surrey, 2016)，其在 2016 年泰晤士報之大學指南 (The Times and Sunday Times Good University Guide 2016) 中計有 13 個系所排名英國大學前十名，資訊工程 (原計算系) 則於 2016 年衛報大學指南 (The Guardian University Guide 2016) 中排名第 8 (2015 年排名第 9)。此外，薩里大學近年來於綜合性排行上亦有顯著的進步，例如在 2016 年泰晤士報之大學綜合排行中名列第 8 名 (2015 年是第 11 名)，並獲選為「年度大學 (University of the Year)」，另在 2016 年衛報大學指南中則排名第 4 名，在 2015 年泰晤士報高等教育中排名第 9 名。

依英國完全大學指南 (The Complete University Guide) 2013/2014 學年度統計，薩里大學計有 14,065 位學生，其中博、碩士研究生占 29%，非英國籍學生占 27% (博、碩士研究生中，非英國籍占 46%)，師生比例為 1:14。在學費方面，就讀資訊工程博士課程 (Computer Science PhD) 之國際學生 2014/2015 學年度之學費為

£15,615 (2015/2016 學年度為£17,500)，約是歐盟 (含英國籍) 學生之 4 倍，惟近年來英國各大學正逐步調高歐盟 (含英國籍) 學生之學費。依^職個人之觀察，薩里大學之台灣留學生人數並不多，且主要為大學生或碩士研究生；由於課業壓力及生活型態之差異，^職尚無機會參與該等留學生舉辦之課餘活動；至於我國赴該校進修博士之研究生人數，依^職2012 年抵校後洽詢學校國際學生部門主任，其表示包括^職在內一共僅有 3 人。

薩里大學相當重視產學合作及學以致用，迄 2013 年止，已數年蟬連英國大學畢業生就業率 (以學校畢業 6 個月後之時間點計算，並含繼續深造就學者) 之首位 (2014 年之就業率為 96.9%，排名全英國大學第 2 名)；另其於 1985 年在主要校區附近成立薩里研究園區 (Surrey Research Park)，目前園區內有 128 間公司，主要係以科技研發支援產業需求，其中多數均屬學校之研發成果及其延續，員工人數則超過 2,500 人，該園區自成立以來對薩里大學之經費貢獻約達 1 億英鎊。薩里大學於 2015 年 4 月在通訊系統研究所 (Institute for Communication Systems，隸屬於電子工程學系) 下落成啟用全球首間第五代行動通訊創新中心 (5G Innovative Centre，簡稱 5GIC)，其經費包括產業創始會員 (主要包括國際知名通信設備製造商) 及收費會員捐助或繳納之 6,800 萬餘英鎊及英格蘭高等教育基金會 (the Higher Education Funding Council for England) 所提供之 1,200 萬英鎊。我國駐英國台北代表處科技組郭組長克嚴及李副組長欣午曾於 2014 年 6 月 27 日蒞臨該研究所與其所長 Professor Rahim Tafazolli 洽商合作之可行性。

相較於我國國內之生活消費，英國除各項生活費用普遍不低外，吉爾德福之租屋價格更為全英國第三高 (Shelter Private Rent Watch, 2011)，僅略低於倫敦及溫莎 (Windsor)，^職於進修期間租賃市區近郊一房公寓 (flat) 之月租為 920 英鎊 (此金額在英國多數地區已足夠承租三房左右之獨立屋 (house) 或半獨立屋 (semi-detached house))；在學校住宿方面，單身宿舍視房型及合住人數每週費用從 87 英鎊至 199 英鎊 (依 2015/2016 學年度費率表) 不等，家庭式公寓從一房至四房之每週費用則從 240 英鎊至 350.50 英鎊不等。是故，對於國內考慮至薩里大學進修者

而言，建議宜將當地生活費較高之情形納入考量。



圖一、薩里大學 5G 創新中心



圖二、吉爾德福街景

(二) 研究主題

行政院於 2010 年 4 月第 3193 次院會核定通過經濟部（2010）規劃之「雲端運算產業發展方案（經濟部，2010）」，訂定五大施政方向：(1)提升政府運作效能(2)提升民眾生活水準(3)提升硬體附加價值(4)帶動產業投資、加速產業轉型(5)加強基礎研究與產業科技研發；方案中規劃由相關部會啟動共 15 項雲端運算計畫，預計於 5 年時間投入 240 億元經費，冀期透過相關計畫之執行，有效運用雲端運算科技，創造智慧化生活，實現升級台灣成為資訊應用與技術先進國家之願景。嗣經檢討國內需求及國際上技術競爭等因素後，相關部會決定以「推動民眾有感應用」、「奠定系統軟體基礎」、「發揮綠色節能效率」、「落實雲端基礎建設」、「建構創新應用之開發能量」等 5 個面向進行調整，並將該方案更名為「雲端運算應用與產業發展方案（經濟部、研究發展考核委員會，2012）」，於 2012 年 11 月 15 日經行政院核定。

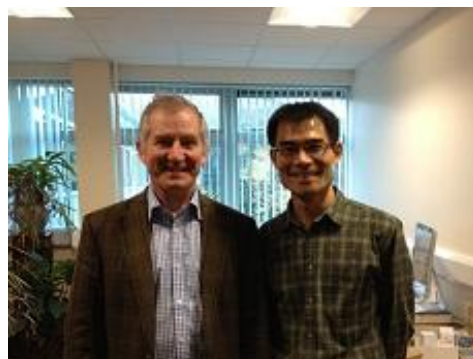
^職考量個人過去在資通訊領域之學經歷背景，復為呼應政府推動雲端創新運用之政策方針，並實踐服務機關所肩負「應鼓勵新技術及服務之發展」之核心目標，爰規劃以「雲端運算於數位家庭中通訊傳播服務之應用模式研究」作為進修主軸，輔以對「雲端接取技術及人性化雲端裝置（client devices）之研究」，於 2010 年 7 月依「行政院選送優秀公務人員國外進修實施計畫」提出出國進修之申

請。

職於 2012 年抵英進修初期，原有意在所規劃之研究主軸下，進行相關通訊協定 (protocol) 之理論研究，經與指導教授 Professor Paul Krause 進行深入及密集之討論後，咸認為在世界各國紛紛面臨高齡化社會所帶來的嚴峻挑戰之際，遠距醫療監測 (healthcare telemonitoring) 應是未來數位家庭及物聯網 (Internet of Things, IoT) 的核心應用之一；是故，倘能針對如何妥善運用雲端運算技術及通訊傳播服務平台，並結合日益普及之智慧行動裝置 (smart mobile devices) 及小形／微形無線感測元件 (sensor)，據以建構具成本效益之數位家庭遠距醫療監測服務，相關研究成果除應具有學術價值外，應更具有實務應用研發與服務推廣之參考價值，職爰將個人研究主題訂為「以行動雲端運算建構具成本效益之數位家庭即時遠距醫療監測系統之研究 (Cost-effective Design of Real-time Home Healthcare Telemonitoring based on Mobile Cloud Computing)」。



圖三、於研究室製作簡報



圖四、返國當日與指導教授合照

(三) 研究過程

1. 研究方法

為深入瞭解前述研究主題所涉及之相關專業領域，職在進修初期便展開了極為廣泛的文獻研究，包括遠距醫療的實際應用案例、大規模隨機對照試驗 (randomized controlled trial) 計畫與經濟評估 (economic evaluation) 模型，以及

相關資通訊技術之發展，例如感應器技術 (sensor technology)、智慧行動裝置、數位家庭、物聯網、雲端運算、行動雲端運算，對於支援具成本效益之即時數位家庭遠距醫療監測系統之設計的可能影響。藉由對這些文獻的進一步探究分析，一方面確立了以智慧行動裝置為核心的 (用戶端) 相關技術選項，並搭配行動雲端運算 (伺服器端) 技術，將是實現具成本效益之數位家庭即時遠距醫療監視系統的關鍵要素，另一方面⁸也因此確立了研究方向，以及以 web 應用程式 (application) 及 REST (REpresentational State Transfer) 所定義之方式，作為用戶端接取雲端之運作型態及基本架構。

緊接著，⁸設計開發了包括病患生命徵象監測 (vital sign monitoring)、安全監測 (safety monitor) 及活動型態監測 (movement pattern monitoring) 等三組核心功能所構成之概念證明 (proof-of-concept) 系統，來實證藉由行動智慧裝置為中心的相關技術得以實現那些遠距醫療監測之用戶端功能，並為後續建構模擬模型之必要參數時，提供所需之相關實驗數據。其中生命體徵監測項目包括血壓、體溫、呼吸空氣流量、心電圖 (ECG)、血糖、出汗程度、心跳次數、血氧濃度 (SpO2) 等，安全監測係以跌倒偵測 (fall detection) 為主要功能，活動型態監測則是提供使用者 (或病患) 室內即時動態定位 (indoor real-time location tracking) 功能。針對此 (用戶端) 系統之設計實作，主要採用了智慧型手機 (iPhone 5)、Arduino 可程式化模組相容之電子醫療感測元件及數個藍牙低功耗 (Bluetooth Low Energy, BLE) 感測元件。

由於上述概念證明系統僅為單一系統，且囿於進修期限及經費等限制，無法徵求大量使用者 (或病患) 實際參與大規模之隨機對照試驗，以取得研究數據並進一步評估行動雲端運算如何有效支援大量使用者同時進行即時遠距醫療監測。有鑒於此，模擬 (simulation) 因具有成本低、執行時間短、可重複操作性佳及相關參數可控制性高等優點，遂成為本研究中極為重要之實驗工具，⁸爰採用 Java 程式語言並運用離散事件模擬 (Discrete-Event Simulation, DES) 概念，建構了兩組模擬環境 (simulation environments)。

第一組模擬環境，主要係透過軟體模擬，產生 10 萬名年長之慢性病患者，並隨機分為對照組（control group）和介入組（intervention group），同時透過所建構之數學模型（共定義了 115 個數學公式），模擬產生該等病患每日之日常生活活動（activities of daily living），包括睡覺、起床、就寢、跌倒、量測生命徵象參數、居家室內走動、接受護理人員居家訪視、外出（例如就醫）等活動或行為，以及各活動對遠距醫療監測系統所產生之資料及系統雲端伺服器之工作負載，如跌倒偵測告警（fall detection alert）訊息及室內即時動態定位資訊等，並藉此預測對照組及介入組病患對醫療資源（如緊急求救電話、急診室、醫院等）之使用情形。此外，也模擬產生遠距醫療監測體系下，相關醫護人員（professionals）、監測中心之監測諮詢人員（tele-consultants）及病患家屬或照顧者（carers）等，如何藉由監測系統進行互動，例如監測諮詢人員對跌倒偵測告警進行回應、病患生命徵象遠端查詢、醫生遠距診斷結論輸入等活動，以及因此所產生相關之網路資料流量及系統雲端伺服器之工作負載等。

第二組模擬環境，主要是模擬雲端伺服器的運作場景（scenario），特別是建構及模擬雲端 web 應用程式與資料庫伺服器之實際運作行為，包括雲端運算之服務運作架構，如何依據第一組模擬環境所產生之伺服器工作負載，動態進行水平擴充（scale-out）或水平縮減（scale-in），以自動增加或減少相對應之工作伺服器數量。為使模擬結果更趨於真實，本研究特別選定目前全球最大公眾雲（public cloud）服務提供者所提供較具成本效益之特定虛擬機器（virtual machine, VM）機型*¹，作為模擬之標的伺服器機型，並透過基準效能分析（performance benchmarking），首先透過在三部同類型之雲端虛擬機器上執行效能分析工具之方式，取得該類虛擬機器之平均效能，並實際上在兩部選定之雲端虛擬機器上分別安裝 web 應用程式伺服器及 MySQL 資料庫伺服器後，反覆進行負載測試、分析，並依據所獲得之實驗分析數據進一步建構本研究之雲端伺服器模擬模型。此外，

註1：本研究所選定之雲端運算虛擬機器機型為 Amazon 所提供之 t2.micro。

為提高雲端運算之系統效能及可擴充性，並降低虛擬機器之使用成本，本研究亦建構了一套「前瞻性未用容量為基準之系統規模自動調整演算法（forward-looking unused capacity-based auto-scaling algorithm, FLUCAS）」（Liang, 2016），依據雲端伺服器工作負載及公眾雲對虛擬機器之使用收費方式，動態增加或減少雲端伺服器數量，俾達到研究目標。

最後，本研究透過成本效益分析（cost-effectiveness analysis）及敏感度分析（sensitivity analysis），除針對傳統遠距醫療監測系統之資訊設備成本及其它跌倒偵測、室內即時動態定位系統之功能與效能進行比較外，亦對模型中之相關參數進行測試，以評估本研究所提系統架構之成本、有效性、可用性（usability）及可擴充性（scalability）等要素。

2. 研究內容

前節所提概念證明系統及第一組模擬環境之研究、設計，均係為取得建構第二組雲端運算模擬環境之模型時，設定相關參數所需之實驗數據，由於相關內容極其繁多，故以下除簡介數位家庭及物聯網之發展概況外，相關說明將以雲端運算模擬環境之建構為主。

2-1. 數位家庭及物聯網

一般而言，「數位家庭」或「智慧家庭」的應用大致涵蓋教育、娛樂、遠距醫療、安全監控、自動化等面向，Elderly Accommodation Counsel（2003）文件指出，英國貿工部（已改制併入其他機關）的智慧家庭計畫（Smart Home Project），將「智慧家庭」定義為「一個透過通訊網路連接關鍵電子裝置及服務，並允許其被遠端控制、監控及接取的住所。（A dwelling incorporating a communications network that connects the key electrical appliances and services, and allows them to be remotely controlled, monitored or accessed.）」

數位家庭的發展迄今已有十餘年，其概念早在九〇年代即被提出，主要推動

者包括設備製造商及電信網路業者，早期多以業者各自開發的架構及技術來加以實現，隨後的重要發展包括開放服務閘道倡議（Open Service Gateway Initiative, OSGi）聯盟、Konnex 協會均於 1999 年成立，分別致力於推動數位家庭服務遠端管理與佈署的開放標準，以及家庭與建築物的智慧控制等；另外，數位生活網路聯盟（Digital Living Network Alliance, DLNA）則成立於 2003 年，專注於家庭多媒體影音裝置間之互運（interoperability）及互通（interworking）。迄今，這些努力已在技術面獲致相當進展，也獲得產業界廣泛的支持，惟在數位家庭服務市場的開拓上，目前的成果仍極為有限；究其原因，Gaddam, Mukhopadhyay & Sen Gupta（2011）認為商用服務提供者所提出之數位家庭系統架構及管理維運的複雜度，特別是當感測元件的數量增加時，對終端使用者而言實為一大挑戰，故造成市場接受度不高。

^聯原本有意將所提行動雲端遠距醫療監測系統建構在既有數位家庭開放平台或標準之上，惟發現目前產業界尚無一致或標準化之整體解決方案（total solution），特別是欠缺與智慧行動裝置與感測元件整合之標準，因此將研究標的轉向近年來快速發展的物聯網；且隨著物聯網技術的演進，目前已有藉由物聯網的架構及技術來建構數位家庭之趨勢。國際電信聯合會（ITU, 2005）形容物聯網為「介於人與物及物與物之間的一種新通信型態，透過具感知及智能的方式連結世界上的物件（a new form of communication between people and things, and between things themselves, which “connects the world’s objects in both a sensory and an intelligent manner.”）」。

而隨著各類物聯網相關技術及行動寬頻服務與雲端運算的快速發展，國際間普遍認為三者的組合將對吾人的生活型態帶來革命式的改變，而冀期透過物聯網來建造數位家庭，甚或是智慧城市的構想紛紛成形，國際電信聯合會 ITU-T Y.2060 建議書（2012）進一步將物聯網定義為「一個支持資訊化社會的全球基礎建設，其係奠基在既有或發展中可互運的資通訊技術之上，透過物物（實體或虛擬）相連，而使得各種先進服務變得可能（a global infrastructure for the information

society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies.)」。此外，ITU (2011) 物聯網發展路徑圖 (roadmap) 匯整了 ITU 與其他國際組織針對物聯網標準所作的共同協調活動 (Joint Coordination Activity on Internet of Things)，臚列了包括無所不在感測網路 (ubiquitous sensor network, USN)、無線射頻辨識系統 (RFID)、機器對機器通訊 (M2M)、機器導向通訊 (machine oriented communications, MOC)、適地性服務 (location based services, LBS)、感測元件網頁支持服務 (sensor web enablement, SWE)、無線感測網路 (wireless sensor network)、廣域感測網路 (wide area sensor network, WASN) 等應用領域之標準制定情形，此張顯物聯網是一個涵蓋範圍極廣的應用概念。而在支援遠距醫療監測方面，McCullagh and Augusto (2011) 研究指出，物聯網已具備所需的相關技術，但仍欠缺一個能讓社會普遍接受的整體解決方案。

在標準化感測元件的發展上，ZigBee 及藍牙 (Bluetooth) 均已被廣泛使用。ZigBee 於 2002 年被提出，其係建立在 IEEE802.15.4 標準上，並再加上網路層、安全層及應用層，故能夠支援遠端控制及管理；原僅運作在 2.4 GHz 頻段，但隨著其普及，目前在許多國家已額外配置 sub-1 GHz 頻段 (例如美國指配 915 MHz、歐洲 868 MHz、日本 920 MHz)，其室內通訊範圍約 70 公尺 (室外約 400 公尺)，可有效涵蓋一般的住家範圍；另外由於其網路架構具有自動修復 (self-healing) 功能，故增加或移除 (可能是故障或關機) 單一元件並不影響整個 ZigBee 網路之運行，且其網路拓樸 (network topology) 有極大彈性，可依需要採一對一 (pair)、星狀、網狀 (mesh) 或叢集樹 (cluster tree) 等不同方式來構建網路。為支援醫療保健，ZigBee 聯盟亦提出 ZigBee Health Care (2009)，其符合 Continua (2015) 的互運設計準則 (interoperability Design Guidelines) 以及 IEEE 11073 (2015) 裝置專有特性 (device specialization profiles)，以提供醫療及非醫療裝置間資料交換的產業標準。

Bluetooth 標準推出於 1994 年，同樣運作於 2.4 GHz 頻段，傳輸距離約 100 公

尺，其使用跳頻展頻（Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS）技術，雖容易受窄頻雜訊之干擾，但在多路徑雜訊高的環境（如室內）中，則較 ZigBee 所採用的直接序列展頻（Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS）技術有較高的雜訊容忍度。

低功耗藍牙（Bluetooth Low Energy, BLE 又稱 Bluetooth Smart）技術推出於 2010 年，傳輸距離約 10 公尺，可採一對一或星形網路拓樸，雖與 ZigBee 有諸多類似之處，但低功耗藍牙的傳輸距離較短，亦無法採行網狀網路架構，也不具網路管理功能；不過藍牙技術的一項優勢是其高普及率，迄 2014 年底全球百分之九十的行動電話均配備有藍牙技術，故低功耗藍牙規格底定後，德州儀器公司（TI）率先於 2012 年推出 TI SensorTag，隨後 Apple 於 2013 年亦推出 iBeacon，前者結合 6 個不同的感測元件，包括加速器、溫度計、氣壓計等，後者則供發展近距離地理範圍感知應用，二者均搭配智慧行動裝置 App 之應用程式發展套件（development kits）；而目前，結合 BLE 技術之醫療器材，同時符合 Continua 互連設計準則及 IEEE 11073 個人醫療資料標準集（Personal Health Data family of standards），例如體溫計及血壓計等，亦已陸續問世。

^職為發展前述之概念證明系統，基於結合低功耗藍牙技術的 TI CC2541 SensorTag 已有可使用之應用程式發展套件，同時其具有與智慧行動裝置進行無間隙互連、互連之介面等考量，爰決定採用 TI SensorTag 作為發展跌倒偵測及室內即時動態定位功能之主要感測元件；然 BLE 因無網際網路協定（IP）定址功能，遠端應用程式或伺服器無法直接透過 IP 對 BLE 感測元件進行遠端控制或管理，故此等作業須透過內建 BLE master 技術之智慧行動裝置的居間協調來達成。

2-2. 雲端運算的核心要素

雲端運算被稱為第五代運算，其成功可歸因於多項技術及產業的發展，其中虛擬化（virtualization）技術的成熟及負載平衡（load balancing）、系統規模自動調整（auto scaling）功能的整合運用，就本研究而言，^職認為是促使雲端運算資源得

以獲得最佳的利用，並且是達成具成本效益之即時遠距醫療系統不可或缺的三大要素，謹簡介如下：

- **虛擬化**：係指使得一部電腦或一項計算資源（computing resource），例如 CPU、記憶體、儲存硬體，能以多部電腦或多項計算資源的型態呈現予使用者的技術。要達成虛擬化的策略有數種，例如全虛擬化（full virtualization）或部分虛擬化（partial virtualization），而 hypervisor 或稱為虛擬機器管理者（virtual machine manager, VMM）則是一個被廣泛採納的軟體，用以創造虛擬化的環境，一般可區分為兩類：第一類（Type 1）hypervisor 又稱為裸機（bare metal）hypervisor，可直接在電腦主機的硬體上執行，一或多個作業系統則以程序（process）的型態在 hypervisor 中執行，對使用者而言，每一個執行中的作業系統都可被視為是一部虛擬機器，採用此類 hypervisor 的優點是虛擬機器的效能較佳，常見的第一類 hypervisor 有 Xen、Microsoft Hyper-V 及 Oracle VM Server host machine 等；第二類（type 2）hypervisor 又稱為寄宿型（hosted）hypervisor，則是以應用程式的型態在作業系統中執行，其必須透過主作業系統（host operating system）方能存取電腦硬體，而一個或多個客作業系統（guest operating system）則在 hypervisor 中執行，故虛擬機器的效能相對較差，VMWare Workstation 及 Oracle VM Virtualbox 均屬此類。

虛擬化使得單一電腦或硬體資源得以被分享及共用，進而使得雲端運算的共享虛擬計算資源池（resources pooling）的概念得以被實現，例如 Amazon 的彈性計算雲（Elastic Compute Cloud, EC2）及 Rackspace Cloud 推出時均是建構在 Xen hypervisors 上。

- **負載平衡**：是指將工作負載分配至多個同類型節點（node）的一種功能，以善用資源，達成最佳系統工作效能。這裏所提到的節點可以是一部實體電腦、一部虛擬機器、一部硬碟或一個應用程式實體（instance）。針對雲端運算，Benatallah（2011）將負載平衡區分為雲端運算服務提供者層級（cloud

provider level) 及雲端運算用戶層級 (cloud client level); 就前者而言, 節點及工作負載係分別指實體電腦及雲端運算用戶對虛擬計算資源的需求, 對於後者而言, 則分別指執行雲端運算用戶應用程式 (cloud client's application) 的虛擬計算資源及該等應用程式所執行的使用者要求 (user requests)。

在基礎架構即服務 (infrastructure as a service, IaaS) 的雲端平台上, 例如 Amazon EC2, 採不同運作機制的負載平衡服務, 例如以最近的地理位置 (geographical proximity) 或輪循分配 (Round-robin) 等準則, 係由雲端運算用戶自行依其需求選用, 並經訂購後才提供, 優點是用戶可依需要選用不同準則的負載平衡服務, 並設定執行時的相關參數選項或條件, 缺點則是對部分用戶而言, 這些設定顯得過於複雜。然而在平台即服務 (platform as a service, PaaS) 雲上, 例如 Google App Engine 及 Microsoft Azure, 負載平衡服務一般均由雲端平台直接提供及執行, 對雲端運算用戶來說是透通的 (transparent), 優點是用戶毋須額外處理負載平衡問題, 但缺點則是缺乏運作上的彈性。

- **系統規模調整 (scaling)**: 係指系統因應工作負載的改變自動調整系統規模, 以維持所須的工作效能或服務品質。一般而言, 系統規模調整有兩種方式, 亦即垂直及水平方式。前者係在既有的系統節點中, 增加或移除計算資源, 例如 CPU、記憶體或儲存體; 後者則是增加或移除系統中的節點。這裏所指的節點, 可以是一部虛擬機器或一個應用程式實體。對雲端應用程式而言, 系統規模自動調整一般是指, 當符合事前定義的一組指標條件時, 例如執行同一應用程式的所有虛擬機器之平均 CPU 使用率達到某特定數值時, 即開始執行水平調整, 以提供較佳的使用者經驗, 並使雲端運算的快速佈署靈活性 (rapid elasticity) 及依使用量付費 (pay-per-use) 的效益極大化。

在基礎架構即服務的雲平台上, 例如 Amazon EC2, 系統規模自動調整基本上係由雲端用戶選購後提供, 並允許用戶自行定義規模調整的準則, 即

前述的一組指標條件，以及相對應須增加或減少系統節點數量的動作。就平台即服務雲而言，例如 GAE，系統規模自動調整係由服務平台以透通性的方式提供予雲端用戶，一般而言，雲端用戶並無自主的控制權，雖然少部分平台即服務雲，例如 Microsoft Azure，仍允許用戶自行定義及管理此功能。而就如同前述之負載平衡一樣，這些不同的服務提供模式也有類似的優缺點，故須視雲端用戶本身的需求來作選擇；惟因系統規模自動調整功能設計得當與否，對系統運作之成本及整體效能影響甚劇，為有效支援具成本效益的遠距醫療監測，本研究特別提出 FLUCAS 演算法，其基本概念將在第 2-9 節中作簡介。

2-3. 雲端運算的經濟效益

Perry and Hendrick (2012) (IDC 研究報告) 針對美國企業所做的一個小規模研究顯示，將資訊系統從自建改為採用 Amazon 的基礎架構即服務雲，其長期的經濟效益包括：

- 五年投資回收 (ROI)：626%
- 系統停機時間 (downtime)：減少 72%
- 資訊部門生產力 (productivity)：增加 52%
- 每一應用程式每年之資本及營運支出 (capital & operational expenditure)：減少 US\$276,000

這些結果與一般所認知，雲端運算可降低資金投入及營運成本之效益大致吻合，而依 Microsoft (2010)，雲端運算的經濟效益，事實上係透過下述三個領域而得以實現：

- 供應端的節省 (supply-side savings)：公眾雲服務提供者因在資料中心的經濟規模，使得其能源、人力、基礎建設及營運成本得以下降。
- 需求端的聚集 (demand-side aggregation)：透過虛擬化，實體計算資源得由

多用戶來分享及共用，使得資源的使用率提高，並進一步降低成本。

- 多租戶的效率（multi-tenancy efficiency）：透過再造工程（reengineering），使得應用程式從傳統上僅能服務內部佈署（on-premises）機器的一名使用者，變成可以透過雲端佈署同時服務多位使用者，故應用程式的成本及維運，可分擔至多使用者。

當然，單純將應用程式從本機移至雲端，並不能保證可以獲得此等經濟效益，唯有選擇合適的雲端服務及效能佳的虛擬機器管理者，並佐以完善的負載平衡及系統規模自動調整機制，方可有效實現這些經濟效益。

2-4. 雲端運算之軟體模擬工具

隨著雲端運算的日益普及，所涉技術及應用議題的研究亦因此受到高度重視，基於前述軟體模擬之優點，學研單位爰發展出各類不同的軟體模擬套件，Pranggono, Alboaneen, and Tianfield（2015）將 18 項雲端運算模擬工具分成三類：

- CloudSim（Buyya, Ranjan and Calheiros, 2009）與其衍生版：例如 CloudAnalyst、CDOSim、EMUSIM, NetworkCloudSim 及 TeachCloud；
- 虛擬資料中心（datacenter）模擬：例如 DCSim、GDOSim、GreenCloud、iCanCloud、MDCSim 及 SPECI；
- 其他：例如 GSSIM、Open Cirrus、Open Cloud Testbed、PerfCloud、GroupSim 及 SimGrid。

除上述之模擬工具外，類似功能之軟體尚有 CloudReports、RealCloudSim、CloudAnalyst, CloudSimEx（Grozev and Buyya, 2013）、DynamicCloudSim 及 SimWare，而除 SimWare 主要係供模擬資料中心的能源使用效率外，其餘均為 CloudSim 的衍生版，以增加如圖形化使用者介面、異質計算資源效能或磁碟輸入（I/O）負載等模擬功能。

^職經過研析比較上述軟體後，決定採用 CloudSim 及 CloudSimEx 來發展本研

究所需之模擬模型及測試作業。CloudSim 是由墨爾本大學（University of Melbourne）以 Java 程式語言所開發出來之事件驅動（event-driven）軟體套件，對於雲端運算平台中的各個組件，例如資料中心、電腦主機（hosts）、虛擬機器、工作負載（cloudlets）及事件控制引擎（event handling engine）等，分別以層級化之 Java 類別（class）來加以實作，目的是模擬可調整規模之雲端運算環境；其中虛擬機器係經由設定其 CPU 運算能力（每秒百萬指令，MIPS）、記憶體容量（百萬位元組，Mbytes）、網路頻寬（每秒百萬位元，Mbps）等來加以定義；而 cloudlet 則是經由設定其被虛擬機器執行時所需耗用之計算資源，包括 CPU 指令數、佔用記憶體量及頻寬等。對於擬進行雲端運算模擬者而言，透過對 CloudSim 所定義類別之使用，或以繼承（extends）方式擴充或修改既有類別之定義及其函式（methods）等方式，可加快自訂模擬模型及模擬環境之建構，因此使用 CloudSim 來進行雲端運算之研究，近來有逐漸增加之趨勢。

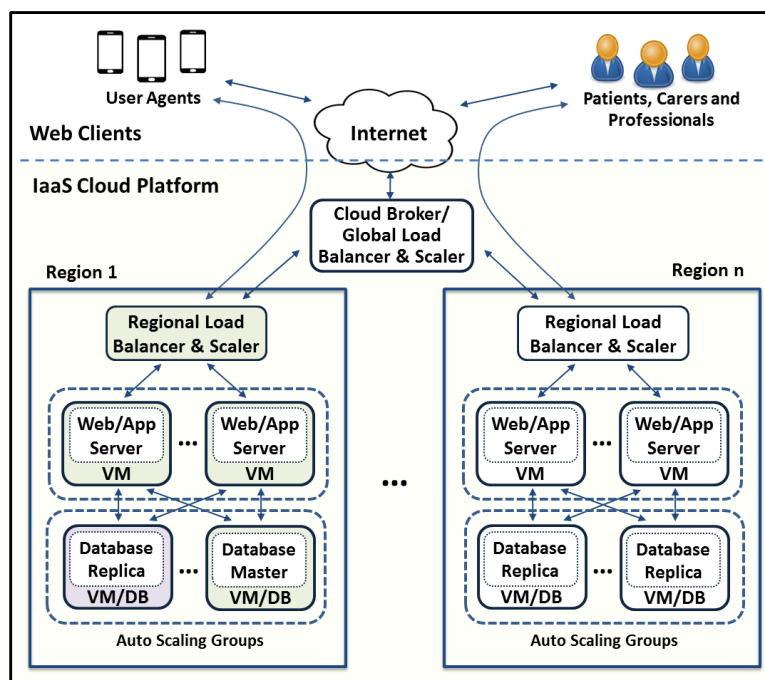
CloudSimEx（Grozev and Buyya, 2013）是 CloudSim 的擴充版，兩者係由同一研究團隊所開發；CloudSimEx 之目的是支援三層次（three-tier）web 應用程式之模型建構，新增之類別及功能包括使用者上網產生之伺服器工作負載（web user session workload）、較佳之紀錄功能（logging utilities）、磁碟 I/O 作業容量、磁碟 I/O 作業負載等。其中，上網產生之伺服器工作負載又區分為應用程式伺服器（web application server）工作負載及資料庫伺服器（database server）工作負載，二者分別以 asCloudlet 及 dbCloudlet 來表示；另外，磁碟 I/O 作業容量與工作負載則以每秒百萬次 I/O 作業（MIOPS）^{*2}來表示。

2-5. 雲端多層次（multi-tier）應用程式之架構

依本研究所提出之數位家庭遠距醫療監測系統架構，共包括感測元件模組、

註2：一般而言，磁碟 I/O 作業容量與作業負載應以每秒 I/O 作業次數（IOPS）來表示較符實際，故本研究均採 IOPS 來表示磁碟 I/O 作業容量或作業負載。

使用者中介模組 (user agent module)、服務閘道模組 (service gateway module 或稱 cloud broker module) 及伺服器模組 (App&DB module)。其中，服務閘道及伺服器模組係在基礎架構即服務雲的平台上運作，以善用雲端運算之優點，並妥善管理雲端計算資源。



圖五、雲端多層次應用程式之架構概念圖 (資料來源：Liang, 2016)

圖五為雲端多層次應用程式之架構概念圖，圖上方所標示的網路用戶端 (web clients) 涵蓋大量的使用者中介模組及終端使用者 (end-users)，包括病患、照顧者及醫護人員，該圖其他部分則為基礎架構即服務雲平台 (IaaS Cloud Platform)，內部佈署有負載平衡程式與規模自動調整程式，以及網頁應用程式及資料庫伺服器。雲中介 (cloud broker) / 全域 (global) 負載平衡程式是網際網路進入雲端服務平台的入口，其依所持有的雲端運算資源清單及所定義之負載平衡準則，將使用者所產生的工作需求 (requests)，分配至不同地理區域 (regions) 的計算資源進行執行，並依需要啟動系統規模調整機制；Amazon Route 53 雖不具系統規模自動調整功能，但大致上仍可歸納為此類服務，其可依使用者距離可能造成之網路延遲或依域名伺服器位置、權重式輪詢機制等，將使用者工作需求分配

至單一或多個雲端服務提供者佈署於不同區域的伺服器。而依據各別雲端服務提供者的雲端架構，一個地理區域可能只有一個資料中心，也可能如 Amazon 的雲端架構一樣，涵括多個資料中心或可用分區（availability zones）。

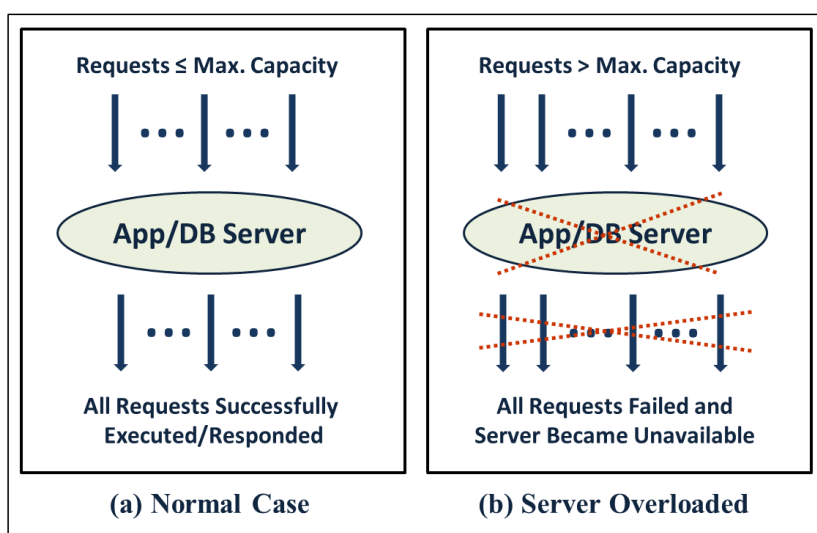
至於區域性（regional）負載平衡程式與規模自動調整程式，則負責將所收到之使用者需求分配至區域內相對應之應用程式伺服器（於虛擬機器上執行），並在同一規模調整群組（auto scaling group）內，依伺服器工作負載及規模調整準則動態增加或減少伺服器數量。應用程式伺服器之高服務可用性、可擴充性與系統效能，以及故障移轉（failover）功能，係透過在區域內或跨區域間之不同虛擬機器上佈署相同的應用程式實體來達成；至於資料庫之服務可用性、可擴充性與系統效能，以及故障移轉，則可採資料庫複寫（database replication）、叢集（clustering）、磁碟陣列（redundant array of independent disks, RAID）等方式來達成，故應用程式伺服器及資料庫伺服器係分屬不同的規模調整群組。

2-6. 伺服器行為（Behaviour）及負載執行之模型建構與模擬

為有效模擬應用程式及資料庫伺服器的「需求執行（request-execution）」行為，模型設計時須處理兩項重要議題：首先，當同時收到的使用者需求超過伺服器之容量限制時，伺服器必須能夠處理過載（overload）情況，而不會因而當機，例如以程序方式執行（process-based）的 Apache 網頁伺服器有同一時間可執行的程序數量限制及可處理的需求數量（number of requests）限制（預設值為 256），而以執行緒方式運作（thread-based）的 MySQL 資料庫伺服器則有同一時間可執行的執行緒數量限制及可處理的資料庫連結數量（number of connections）限制（預設值為 150），惟二者均能將超過其容量之需求（over-capacity requests）置於等待佇列（waiting queue），俟所需之計算資源、程序或執行緒被釋放出來時，再予執行；其次，同一使用者需求所引發之應用程式伺服器工作負載及資料庫伺服器工作負載之執行，必須加以同步，例如當某使用者於一購物網站上瀏覽特定商品時，應用程式伺服器收到該商品瀏覽需求後，會向資料庫伺服器查詢商品資訊

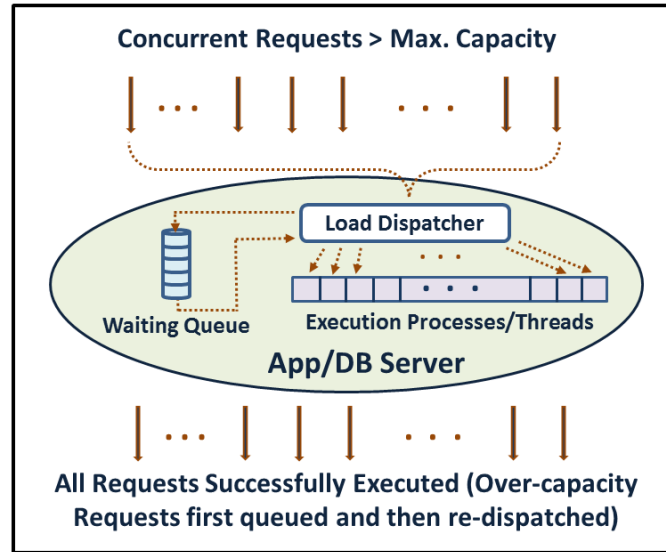
(如照片、規格說明、價格等)，並俟所需資訊回傳後，才能將完整的網頁資料送回使用者的網頁瀏覽器，此即為工作負載執行動作之同步。

圖六呈現以 CloudSimEx 進行模擬時伺服器未過載及過載之執行情形，如圖六(a)所示，當同一時間之使用者需求未超過應用程式或資料庫伺服器之最大容量時，所有需求均可正常獲得服務及執行；惟 CloudSimEx 的設計並無以等待佇列處理超過系統容量之使用者需求的機制，造成當同一時間之使用者需求超過應用程式或資料庫伺服器之最大容量時，即發生伺服器過載及當機，此時所有需求均無法獲得服務及執行，如圖六 b)所示。

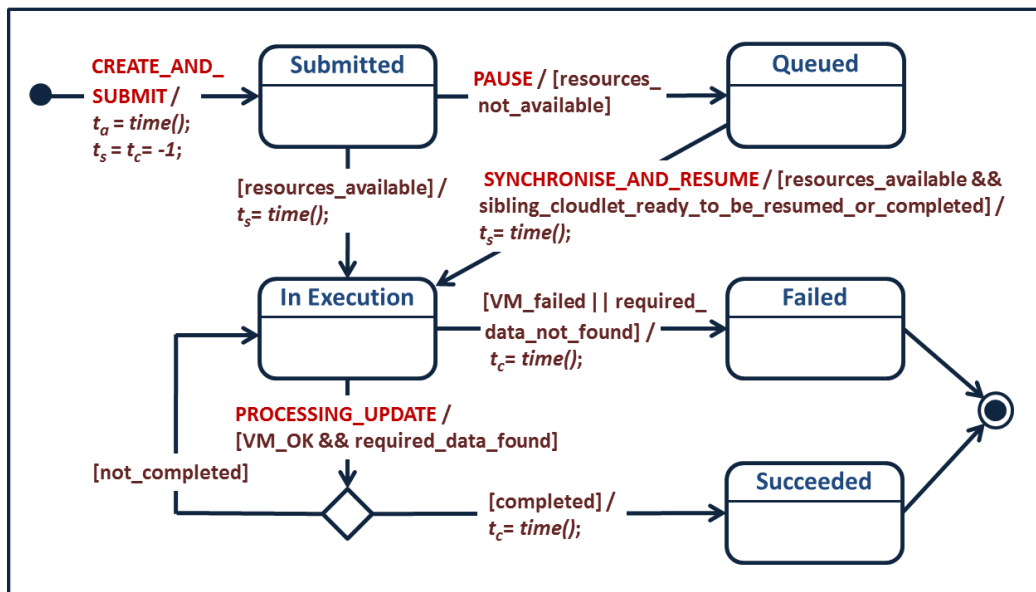


圖六、以 CloudSimEx 進行模擬時伺服器過載示意圖（資料來源：Liang, 2016）

為使本研究之雲端模擬更貼近於真實世界的情況，^職在 CloudSimEx 的架構上加入了負載分配及等待佇列機制，如圖七，來處理當同一時間之使用者需求超過應用程式或資料庫伺服器最大容量之過載問題，並確保系統仍可正常的執行；此外，^職亦針對工作負載平衡、系統容量自動調整、user session 產生方式等多項機制進行修正，所提之模擬軟體套件總稱為 RuntimeCloudSim。



圖七、本研究 RuntimeCloudSim 模擬模型中之負載分配及等待佇列機制（資料來源：Liang, 2016）



圖八、本研究模擬模型中伺服器執行工作負載之狀態圖（資料來源：Liang, 2016）

如圖八狀態圖（state diagram）所示，當工作負載交付予（submitted）伺服器後，如伺服器有資源不足之狀況，該工作負載即被置入等待佇列（queued），此時應用程式及資料庫伺服器間必須進行同步，並俟所需計算資源獲得釋出，該工作負載即可從等待中恢復（resumed），並進入執行狀態（in execution）。

2-7. 虛擬機器之模擬模型建構

誠如圖五所示，虛擬機器為雲端運算服務平台中的核心單元，其係以 CPU 運算能力、記憶體容量、磁碟 I/O 容量及網路頻寬之整體組合而呈現予雲端服務之使用者，並可執行不同的作業系統及應用程式，不僅不同的虛擬機器有不同的運算能力、工作效能與行為，即使是同一資料中心內同類型虛擬機器，亦會因所在電腦主機之整體工作負載之差異性，而造成各別虛擬機器呈現不同的工作效能及行為；甚至連同一虛擬機器，亦可能在不同時間呈現明顯的效能差異。是故，如何正確地建構虛擬機器之模型以有效模擬真實的雲端運算服務平台，誠屬相當大的挑戰。

因坊間已有不少基礎架構即服務之雲端服務提供者，為解決如何合理定義 RuntimeCloudSim 模擬環境中虛擬機器之 CPU 運算能力、記憶體容量、磁碟 I/O 作業容量及網路頻寬等模擬模型建構之重要參數，本研究決定以市占率最高的 Amazon 之基礎架構即服務雲為模擬標的，並參考 Ipbal, Dailey and Carrera (2014) 研究發現，Amazon EC2 “micro” instances 相較“small”及“medium” instances，擁有較佳之成本效能比，故最終以 EC2 “t2.micro” instances 作為虛擬機器之模擬對象。表一為 Amazon 表定之“t2.micro” instance 之效能屬性 (performance attributes)。

| vCPU | Baseline CPU Performance | Memory (Gbytes) | EBS Performance (IOPS) | Networking Performance |
|------|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 10% | 1 | 24 ~ 3,000 | 低至中 |

表一、Amazon EC2 “t2.micro” instance 之效能屬性 (資料來源：Amazon, 2015)

為進一步瞭解 EC2 t2.micro instance 之效能，本研究實際啟動 3 個該類別之 instances (均安裝 Ubuntu 14.04.1 作業系統)，並於其上反覆執行“7zip”，“fio”，and “iperf” 等效能分析工具，以取得該類虛擬機器之平均效能；包括在上、下午時段執行 80 次“7zip”進行檔案壓縮及解壓縮 (檔案大小 4~32 Mbytes)，以求得 CPU 計算能力；反覆執行“fio”隨機讀寫高達 24 Gbytes 資料，以求得 I/O 作業容量；以及

執行”iperf”進行點對點連線及各 40 次跨 Amazon 不同可用分區虛擬機器間的資料傳送及相同可用分區內虛擬機器間之資料傳送，以估算其網路頻寬等。表二為透過此效能分析作業所獲得之虛擬機器效能數據。

| | Mean | Standard deviation | Lowest Bound |
|--------------------------|-------|--------------------|--------------|
| CPU (MIPS) | 3,350 | 25 | 3,100 |
| Memory (Gbytes) | 1 | n/a | n/a |
| Storage I/O (IOPS) | 4,960 | 220 | 4,700 |
| Network Bandwidth (Mbps) | 135 | 10 | 60 |
| Startup Time (seconds) | 100 | 10 | 80 |

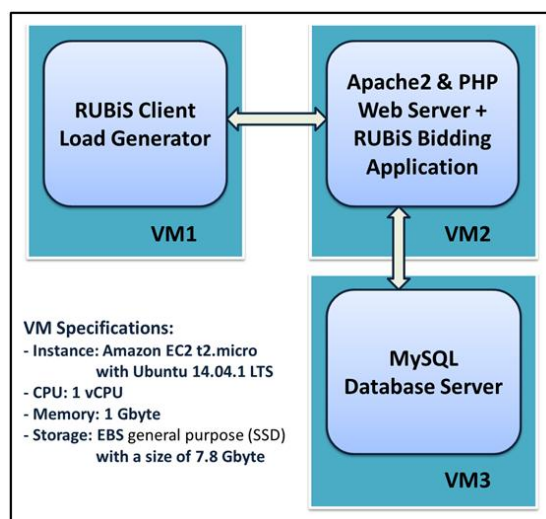
表二、透過效能分析作業所獲得之虛擬機器效能數據（資料來源：Liang, 2016）

2-8. 動態工作負載之模擬模型建構

基本上，本研究採取與 CloudSimEx 相同的概念，認為以使用者上網期間（user session）產生之伺服器工作負載為模擬標的，相較於只模擬使用者之單一需求（single request），當更能有效模擬真實世界裏多層次網路應用程式之工作負載。前者是指由同一使用者在某一上網期間下達的一連串需求而產生之伺服器工作負載，而使用者在瀏覽網頁及進行下一個動作前（即提出下一個需求前），會有一段使用者考慮時間（think time）。至於如何將 user session 合理地對應至 RuntimeCloudSim 架構中的應用程式伺服器工作負載（即 asCloudlet）及資料庫伺服器工作負載（即 dbCloudlet），以有效模擬真實世界裏多層次網路應用程式之工作負載，即為動態工作負載模擬模型建構之重點。

為解決上述問題，本研究運用 t2.micro instances 啟動三部虛擬機器（採用 Ubuntu 14.04.1 作業系統），分別稱為 VM1、VM2 及 VM3，並佈署如圖九之架構，以進行負載測試。VM1 安裝了 RUBiS Client（OW2 Consortium, 2015），以產生 100 至 5,000 位模擬用戶（client）瀏覽拍賣網站所產生之工作負載，VM2 安裝 Apache 2.4.7、PHP5 5.5.9 及 RUBiS 拍賣應用程式，以模擬拍賣網站之應用程式伺

服器，VM3 則安裝 MySQL 5.5.43 資料庫伺服器軟體，並建立 5,000 名虛擬登錄用戶及 32,667 拍賣物件。表三為本研究進行負載測試，於 VM2 所記錄之 CPU、記憶體及 I/O 負載（利用‘sar’、‘iostat’、‘ps’及‘top’等指令）。



圖九、工作負載測試架構圖（資料來源：Liang, 2016）

| No. of Clients | 100 | 100 | 500 | 500 | 1,000 | 1,000 | 2,000 | 2,000 | 3,000 | 3,000 |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| No. of Requests | 9,077 | 9,781 | 99,118 | 96,677 | 155,631 | 154,450 | 249,352 | 248,383 | 336,011 | 348,547 |
| Total CPU Usage (%) | 298.40 | 356.42 | 2,600.45 | 2,535.87 | 3,680.09 | 3,817.42 | 5,983.4 | 5,826.73 | 7,655.40 | 7,965.10 |
| Max. CPU Usage per sec.(%) | 20.39 | 23.23 | 79.00 | 90.00 | 97.03 | 94.94 | 93.00 | 97.00 | 96.04 | 94.05 |
| Max. Memory Usage per sec.(%) | 43.77 | 44.87 | 62.1 | 66.67 | 72.02 | 79.13 | 86.71 | 94.06 | 94.02 | 93.98 |
| Total Memory Commit (%) | 15,450.02 | 15,460.52 | 38,357.54 | 37,789.05 | 39,396.81 | 39,450.90 | 41,974.29 | 40,870.64 | 41,837.69 | 42,959.42 |
| Max. Memory Commit per sec.(%) | 31.87 | 30.69 | 249.93 | 249.94 | 250.01 | 250.19 | 249.98 | 250.25 | 249.98 | 250.19 |
| Total Reads and Writes (I/O) | 509.69 | 472.26 | 908.49 | 850.15 | 1,088.07 | 1,083.84 | 1,406.45 | 1,537.71 | 1,816.74 | 1,946.88 |
| Max. Reads and Writes (I/O) per sec. | 16.00 | 13.86 | 195.96 | 190.82 | 147.47 | 222.12 | 160.61 | 151.52 | 246.00 | 189.90 |

表三、負載測試下 VM2 之 CPU、記憶體及 I/O 負載數據（資料來源：Liang, 2016）

經過分析，本研究估算因每一需求（per request）所產生之應用程式伺服器平

均工作負載數據如表四。

| | Mean | Standard deviation |
|---|--|--|
| Avg. CPU Load per Request (Million Instructions) | 0.74 | 0.087 |
| Memory Usage by Apache Root Process (Mbytes) | 15.25 | Na |
| Avg. Memory Usage per Request (Mbytes) | 8 | Na |
| Avg. I/O Operations per Request | 0.0021 (not to be used in simulations) | 0.0028 (not to be used in simulations) |

表四、使用者需求所產生之應用程式伺服器平均工作負載估算值（資料來源：Liang, 2016）

表五為本研究進行負載測試時，於 VM3 所記錄之 CPU、記憶體及 I/O 負載（利用‘sar’、‘iostat’等指令及 MySQL 資料庫的‘general log’選項），另表六則為本研究估算因每一需求（per request）所產生之應用程式伺服器平均工作負載數據。

| No. of Clients | 100 | 500 | 1,000 | 2,000 | 3,000 |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| No. of Requests | 8,826 | 48,375 | 94,936 | 164,001 | 234,809 |
| Total CPU Usage (%) | 797.45 | 1,268.87 | 1,745.82 | 2,538.89 | 3,366.33 |
| Max. CPU Usage per Sec. (%) | 11.22 | 22.43 | 21.21 | 22.33 | 20.4 |
| Max. Memory Commit per sec. (%) | 39.09 | 41.93 | 41.58 | 41.93 | 41.93 |
| Min. Memory Commit per sec. (%) | 38.7 | 38.36 | 38.81 | 38.36 | 38.36 |
| Total Reads and Writes (I/O) | 1,318.49 | 4,875.19 | 6,755.28 | 11,456.82 | 15,189.1 |
| Max. Reads and Writes (I/O) per Sec. | 45.92 | 116.31 | 133.33 | 136 | 176.04 |
| Total DB Operations | 15,583 | 86,275 | 168,766 | 290,510 | 416,345 |
| Total DB Connections | 17 | 151 | 150 | 156 | 155 |
| Max. Concurrent DB Connections | 17 | 150 | 150 | 150 | 150 |

表五、負載測試下 VM3 之 CPU、記憶體及 I/O 負載數據（資料來源：Liang, 2016）

| | Mean | Standard deviation |
|--|--------|--------------------|
| Avg. CPU Load per DB Operation (Million Instructions) | 0.271 | 0.047 |
| Memory Usage by MySQL without Workloads (Mbytes) | 52.224 | n/a |
| Avg. Memory Usage per DB Connection (Mbytes) | 0.231 | 0.0235 |
| Avg. I/O Operations per DB Operation | 0.0417 | 0.0076 |

表六、使用者需求所產生之資料庫伺服器平均工作負載估算值（資料來源：Liang, 2016）

經由前述負載測試之實證，並對應本研究第一組模擬環境之模型，^職將使用者需求歸納為三大類：第一類（Type I）為單純網頁瀏覽，但毋需進行資料庫讀寫作業，故不產生 dbCloudlet 工作負載；第二類（Type II）為網頁瀏覽，且需進行資料庫讀寫作業，例如醫護人員檢視儲存於資料庫內之病患遠距監測歷史資料；第三類（Type III）為透過應用程式伺服器轉介，進行資料庫寫入作業，例如用戶端送來即時病患遠距監測資料之資料庫寫入。表七為本研究就 asCloudlets 及 dbCloudlets 相對應之工作負載之估算值，公式 1 則是 user session 之數學模型，其中系統反應時間（response time）為使用者送出需求至接收到伺服器回應之時間長度。

| Type of Requests | Cloudlets | CPU Load (million instructions) | | Memory Usage (Mbytes) | | No. of I/O Operations | |
|------------------|------------|---------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Type I | asCloudlet | 0.74 | 0.087 | 8.0 | 0.4 | 0.05 | 0.01 |
| | dbCloudlet | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Type II | asCloudlet | 0.74 | 0.087 | 8.0 | 0.4 | 0.05 | 0.01 |
| | dbCloudlet | 0.27 | 0.047 | 0.25 | 0.025 | 0.3 | 0.05 |
| Type III | asCloudlet | 0.37 | 0.043 | 8.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| | dbCloudlet | 0.13 | 0.023 | 0.25 | 0.025 | 0.2 | 0.03 |

表七、asCloudlets 及 dbCloudlets 相對應之工作負載估算值（資料來源：Liang, 2016）

$$\begin{aligned}
A \text{ session} &= \sum_{i=1}^m (request_i + responseTime_i) + \sum_{j=1}^{m-1} thinkTime_j \\
&= \sum_{i=1}^m (asCloudlet_i + dbCloudlet_i + responseTime_i) + \sum_{j=1}^{m-1} thinkTime_j \quad (\text{公式 1})
\end{aligned}$$

2-9. 負載平衡及系統規模自動調整機制

為降低系統使用虛擬機器之成本，本研究針對 Amazon 之計費機制，提出「成本感知最少未竟需求（“Cost-aware” Least Pending Requests）」負載平衡機制，其細節在此不予贅述。另為有效支援具成本效益的遠距醫療監測，並解決一般系統規模自動調整機制可能造成之系統容量不足（under-provisioning）或容量過剩（over-provisioning）之問題，本研究特別提出「前瞻性未用容量為基準之系統規模自動調整（FLUCAS）」演算法（Liang, 2016），其係透過對新近收到之工作需求之變化分析，預測未來特定時間內（可依系統對反應時間之要求做設定，例如 3.5 秒）可能持續產生之工作需求，據此計算所需之系統規模及容量，並依需要動態啟動水平擴充或水平縮減，以自動增加或減少相對應之工作伺服器數量，其細節在此亦不予贅述。

2-10. 支援大規模遠距醫療監測應用的(行動)雲端運算之成本效益分析

為進行(行動)雲端運算之成本效益分析，本研究依前述模型建構成果，擬訂 10 日之模擬作業策略，至於執行 RuntimeCloudSim 之相關模擬參數及預設值分列如表八、九、十、十一及十二，其中透過模擬產生之介入組病患數為 49,924 人，照顧者為 33,300 人，醫護人員共 15 人，監測中心之監測諮詢人員共 13 人，持續產生及上載監測資料之使用者中介模組（即智慧行動裝置）亦有 49,924 具。此外，預設之應用程式伺服器（App Server）及資料庫伺服器（DB Server）各使用一部預付型之虛擬機器（Reserved VM），其成本為每年 US\$81 元，當因應使用者需求增加而啟動水平擴充並增加工作伺服器數量時，則使用隨選虛擬機器（On-demand VM），其成本為每小時 US\$0.014 元。

| Simulation Objects | Number and Costs (US\$) of Reserved VM | CPU Capacity (MIPS) | Memory Capacity (Mbytes) | I/O Capacity (IOPS) | Max. No. of Processes/Threads | New VM Startup Time (sec.) | Costs of On-demand VM (US\$) |
|--------------------|--|---------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| App Server | 1 (\$81/year) | 3,350 | 2,560 | 4,960 | 256 | 100 | \$0.014/hour |
| DB Server | 1 (\$81/year) | 3,350 | 2,560 | 4,960 | 150 | 100 | \$0.014/hour |

表八、10 日模擬作業下之伺服器系統效能預設值（資料來源：Liang, 2016）

| Web Users (Intervention group) | Total | Non-Internet Users | Low-Internet Users | Median-Internet Users | Heavy-Internet Users |
|--------------------------------|--------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Patients | 49,924 | 29,017 | 3,311 | 14,320 | 3,276 |
| Carers | 33,300 | 7,326 | 4,156 | 17,662 | 4,156 |

表九、模擬病患及照顧者之網路使用習慣（資料來源：Liang, 2016）

| Web Users (Intervention group) | Average Think Time for Type I Requests (sec.) | Number of Steps for Type I Requests | Average Think Time for Type II Requests (sec.) | Number of Steps for Type II Requests |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Patients | 50 (SD=20) | 1 ~ 14 | 70 (SD=20) | 0 ~ 14 |
| Carers | 50 (SD=20) | 1 ~ 14 | 70 (SD=20) | 0 ~ 14 |

表十、模擬病患及照顧者之上網參數（資料來源：Liang, 2016）

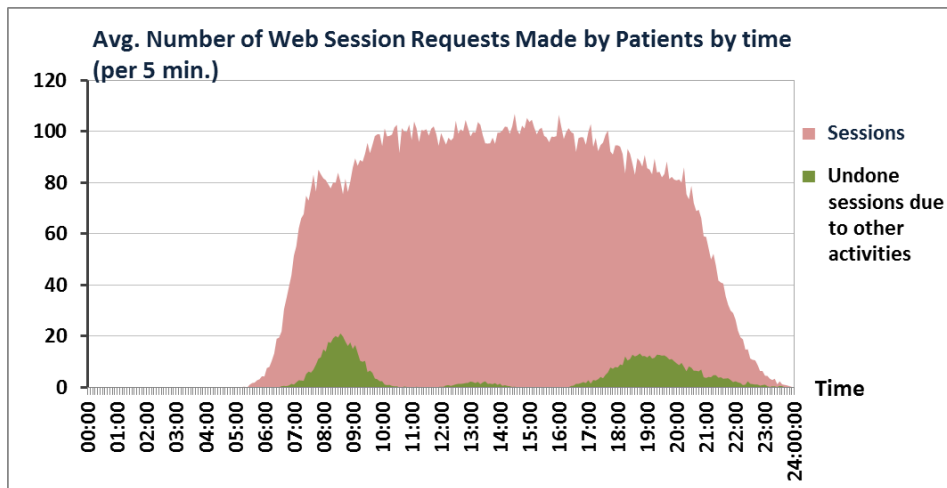
| Web Users | Number of Users | Average Think Time for Type I Requests (sec.) | Number of Steps for Type I Requests | Average Think Time for Type II Requests (sec.) | Number of Steps for Type II Requests |
|------------------|-----------------|---|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Professionals | 15 | 50 (SD=20) | 5 ~ 8 | 70 (SD=20) | 1 ~ 14 |
| Tele-consultants | 13 | 40 (SD=6) | 2 ~ 4 | 50 (SD=8) | 1 ~ 14 |

表十一、模擬醫護人員及監測諮詢人員之上網參數（資料來源：Liang, 2016）

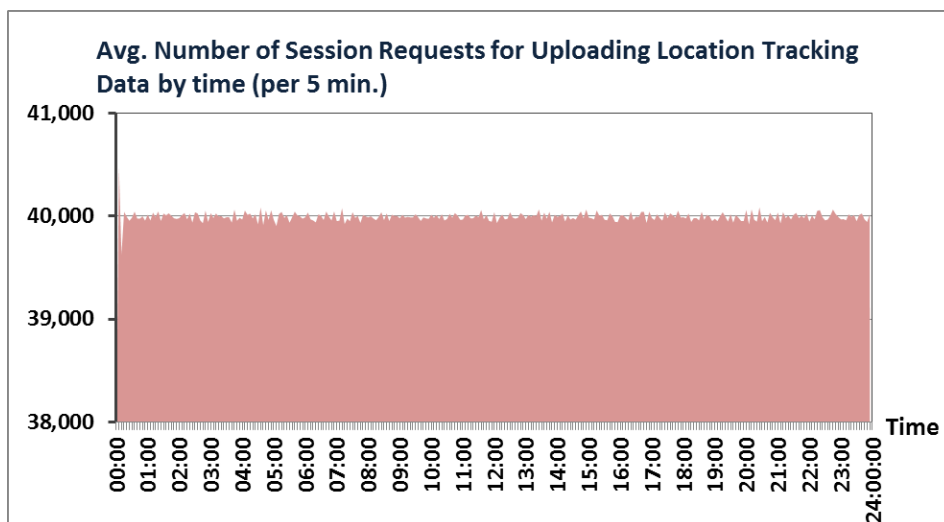
| Type III Request | Timing of Workload Generation | Number of Step |
|---------------------------|---|----------------|
| Vital Sign Data and Alert | Upon the completion of a patient's vital sign measurements | 1 |
| Fall Alert | Upon the detection of a fall | 1 |
| Location Tracking Data | Every 150 to 600 seconds (depending on a repeatedly generated random number on each User Agent) | 1 |

表十二、模擬使用者中介模組資料上傳參數（資料來源：Liang, 2016）

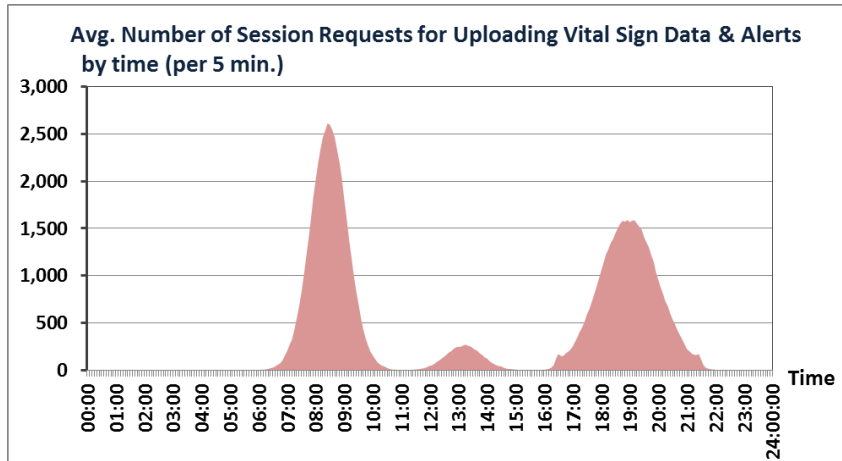
依上述模擬作業參數及預設值啟動模擬作業後，產生相當多之數據資料，以下僅摘要進行簡單說明，例如圖十、十一、十二為模擬病患、使用者中介模組所產生之 Session Requests，圖十三、十四則為應用程式及資料庫伺服器之 CPU 及 I/O 負載，因數量極大，為利模擬作業之執行，故切割每次模擬時間為 2 小時，圖形中之時間軸則以每 10 分鐘為一刻度，其中應用程式伺服器 I/O 負載因對比資料庫伺服器 I/O 負載相對較小，故未能在圖十四中呈現。表十三則為模擬作業之執行結果，原則上以一部應用程式伺服器及一部資料庫伺服器，即可有效處理所有模擬產生之工作需求，系統平均反應時間為 0.001 秒。



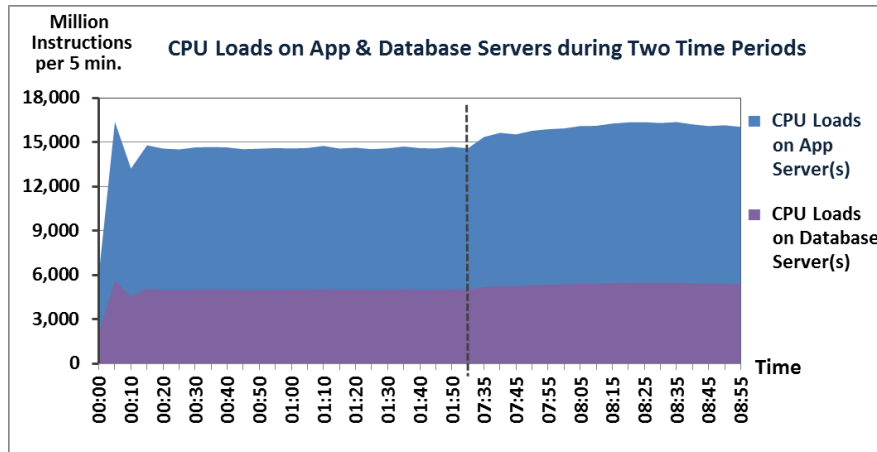
圖十、模擬病患產生之 Session Requests (資料來源：Liang, 2016)



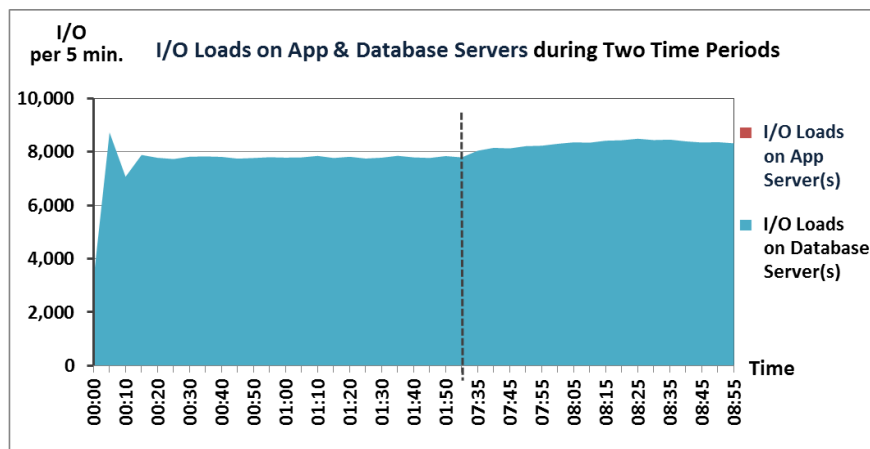
圖十一、模擬使用者中介模組傳送室內定位資料產生之 Session Requests (資料來源：Liang, 2016)



圖十二、模擬使用者中介模組為傳送生命體徵監測及跌落偵測告警資料產生之 Session Requests (資料來源：Liang, 2016)



圖十三、模擬應用程式及資料庫伺服器之 CPU 工作負載 (資料來源：Liang, 2016)

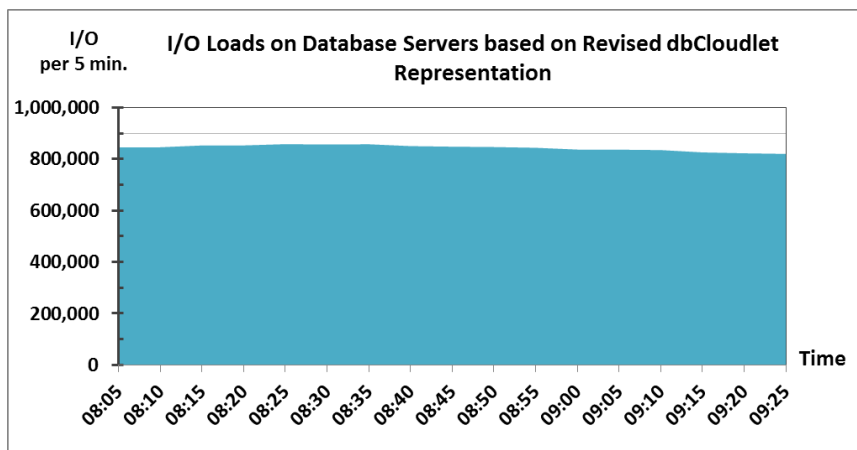


圖十四、模擬應用程式及資料庫伺服器之 I/O 工作負載 (資料來源：Liang, 2016)

| Time Period | Servers (VM id) | Total Finished Cloudlets | Successful Rate | Avg. Delay Time (sec.) | Max. Delay Time (sec.) | Avg. Response Time (sec.) | Max. Response Time (sec.) |
|-------------|-----------------|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 00:00-02:00 | App (1) | 938,091 | 100% | 0 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
| 00:00-02:00 | DB (2) | 938,091 | 100% | 0 | 0 | | |
| 07:35-09:00 | App (1) | 730,662 | 100% | 0 | 0 | 0.001 | 0.003 |
| 07:35-09:00 | DB (2) | 730,662 | 100% | 0 | 0 | | |

表十三、虛擬作業之執行結果（資料來源：Liang, 2016）

為進行敏感度分析，^職調整了多項模擬參數，並重新執行模擬作業，例如將第二類及第三類需求所對應產生之資料庫伺服器工作負載分別放大 20 倍及 100 倍，圖十五呈現在敏感度分析下資料庫伺服器之 I/O 工作負載。

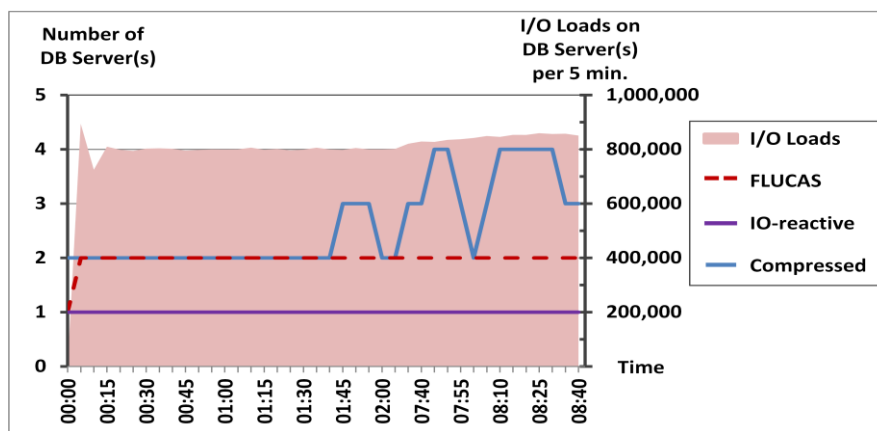


圖十五、敏感度分析下模擬資料庫伺服器之 I/O 工作負載（資料來源：Liang, 2016）

此外，^職亦針對本研究所提 FLUCAS 系統規模自動調整演算法，與 CloudSimEx 作者 Grozev and Buyya (2013) 所提 Compressed 演算法及一般公眾雲所提供之系統規模自動調整服務所採用之 I/O-reactive 演算法進行效能比較，圖十六呈現不同系統規模自動調整演算法所啟動之資料庫伺服器數量，其中 I/O-reactive 演算法因未能啟動水平擴充，故只使用一部伺服器，而當虛擬機器之計費週期係以每小時為單位（如 Amazon），則 Compressed 所啟動之資料庫伺服器成本

較本研究所提 FLUCAS 將高達 3.25 倍。

表十四列出採用不同系統規模自動調整演算法之模擬執行結果，I/O-reactive 演算法因只使用一部伺服器，其最長系統反應時間高達 900.573 秒；FLUCAS 雖在 00:06:40 至 00:07:05 時間區間（共 25 秒）內，因新伺服器尚未加入提供服務，造成最長系統反應時間為 6.347 秒（雖平均系統反應時間仍為 0.0153 秒），惟當新伺服器加入後，其反應時間則較預設使用 2 部備用伺服器之 Compressed 為短。



圖十六、不同系統規模自動調整演算法所啟動之資料庫伺服器數量（資料來源：Liang, 2016）

| Time Period | Auto Scaling Algorithms | Number of Launched Server(s) | Usage of VM Charging Periods (per hour) | Avg. Delay Time (sec.) | Max. Delay Time (sec.) | Avg. Response Time (sec.) | Max. Response Time (sec.) |
|-------------------|-------------------------|------------------------------|---|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 00:00-02:00 | FLUCAS | 2 | 2 | 0.0154 | 5.102 | 0.0689 | 6.347 |
| 00:07:06-02:00:00 | FLUCAS | 2 | 2 | 0 | 0.001 | 0.0153 | 0.134 |
| 00:00-02:00 | I/O-reactive | 1 | 1 | 146.9238 | 414.264 | 148.1525 | 414.645 |
| 00:06-02:00 | Compressed | 3 | 5 | 0 | 0.001 | 0.0132 | 0.138 |
| 07:30-08:47 | FLUCAS | 2 | 2 | 0 | 0 | 0.0143 | 0.111 |
| 07:30-08:47 | I/O-reactive | 1 | 1 | 231.5015 | 900.166 | 232.7277 | 900.573 |
| 07:30-08:47 | Compressed | 6 | 8 | 0 | 0 | 0.0095 | 0.112 |

表十四、採用不同系統規模自動調整演算法之模擬執行結果（資料來源：Liang, 2016）

三、研究成果與心得

(一) 論文發表

^職在學期間，計與指導教授共同發表以下 4 篇論文：

- Liang, P.C. and Krause, P. (2013), “Cost-effective Healthcare Telemonitoring”, Conference on Mobile and Information Technologies in Medicine 2013 (MobileMed), Conference Paper 4, Prague, Czech Republic, Nov. 2013
- Liang, P.C. and Krause, P. (2014), “Cost-effective design of real-time home healthcare telemonitoring”, in Proceedings of HEALTHINF 2014, Angers, France, Mar. 2014.
- Liang, P.C. and Krause, P. (2014), “Real-time indoor patient movement pattern telemonitoring with one-meter precision”, in Proceedings of MobiHealth 2014, Athens, Greece, Nov. 2014, pp. 141-144.
- Liang, P.C. and Krause, P. (2015), “Smartphone-based Real-time Indoor Location Tracking with One-meter Precision”, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, (submitted on 18 Mar. 2015, revised on 2 July 2015 and 9 Oct. 2015, and accepted on 11 Nov. 2015).

另^職亦針對遠距醫療監測環境及雲端運算環境之模擬模型建構，完成兩篇論文初稿，惟後續因時間因素，未及在返國前正式向國際工程期刊完成投稿。

(二) 研究貢獻與心得

由於^職的研究主軸偏重應用面，相較於理論性研究，^職個人覺得似較受產業界歡迎，惟卻有較難在學術原創性及貢獻度等面向上提出有力論述的難題，在^職進修的前、中期過程裏，亦曾數度遭到偏重理論性研究的學者就該二面向提出質疑，所幸在指導教授 Prof. Paul Krause 的鼓勵下，^職才能摒除疑慮、專心投入研究，終能順利達成研究目標，取得學位。

^職的研究除以智慧行動裝置、Arduino 及低功耗藍牙感測元件等，針對跌倒偵

測及室內即時動態定位功能，提出低成本、低侵犯性（less intrusiveness）、高可用性、高精確度之解決方案及多項演算法（在測試實驗中，成功偵測跌倒之靈敏度為 95.5%，室內即時動態定位之平均誤差為 0.47 公尺）外，亦新創大規模遠距醫療及(行動)雲端運算模擬環境之相關模型，包括就(行動)雲端運算之模擬模型提出 2 項演算法、研提及實作雲端系統效能分析機制及修正改善既有雲端運算模擬工具集等，除有助於本研究透過軟體模擬，對相關技術之效能、成本效益進行檢視及評估外，對於後續擬就相關議題進行研究者，相信亦能提供有用之參考資料。

另外，本研究亦透過成本效益分析及敏感度分析，對所提遠距醫療及(行動)雲端運算模擬環境之模型參數進行測試，並就所提演算法與其它演算法之執行結果進行比較，證明本研究所提出之系統架構（含演算法），確具有低成本、高可用性、高可擴充性及高效能等優點。

針對 2012 年行政院通過之「雲端運算應用與產業發展方案」，將政策重點朝「推動民眾有感應用」、「落實雲端基礎建設」、「建構創新應用之開發能量」等面向進行調整，^職認為是很重要的轉變，因為透過應用的推廣及開發，可幫助民眾熟悉雲端運算服務，進而帶動更多的需求及服務的供給；而雲端基礎建設的強化，包括民眾個資保護的法規及執行能量，開放、低延遲、安全可靠的通信網路，以及擁有高速連外頻寬、充足能源供給的資料中心，則是發展在地雲端運算產業的基礎。

而^職在研究過程中，透過對數位家庭、物聯網、無線感測元件、(行動)雲端運算等技術及應用，進行廣泛的文獻研究及實驗測試，業充分感受到雲端運算服務的便利性、高靈活度與低成本（相較於傳統的資訊設備佈建、維運及使用方式），故其普及應用將是一個必然的趨勢，且經由整合物聯網的技術與諸如數位家庭遠距醫療等應用，勢將引領新一波的數位生活典範轉移，而寬頻、低延遲、穩定可靠的電信網路，特別是行動寬頻電信網路，正是支持此發展的重要基石。此外，隨著物聯網的快速發展，低功率無線感測元件之相關無線通信技術，如 ZigBee，

已開始使用 2.4 GHz 以外的頻段，復見到低功耗廣域（low power wide area, LPWA）網路技術（如 LoRa、Sigfox 等）的快速發展，未來低功率/低功耗無線器材的大規模佈建應是指日可待，而其對無線電頻率資源的需求勢將成為重大的政策議題，而如何進行適時、適地、適用的頻率指配與和諧共用，當是主管機關另一項重要的管理課題。

^職也在參加三次以資通訊科技支援醫療保健為主要議題之國際研討會後，充分感受到數位家庭、物聯網、行動雲端運算、雲端巨量資料(big data)等技術及服務之討論，均已逐漸從單純學術或產業之技術研究面，轉化為實際應用面及市場面課題，然無論是就技術面或市場面，能夠持續投入足夠資源於相關研究及創新服務開發之國家，即有可能在下一波的資通訊領域國際競爭中佔有領先優勢。

四、政策建議

- 政府人才培育是一項長期的推動工作，宜有計畫、有系統地持續投入資源：
^職於英國進修期間，於同一研究室所接觸的博士研究生，其進修經費來源大致可分為兩大類：第一類是在職公務員或大學講師，研究期間除繼續支領其原有薪資外，其國家亦提供寬裕之研究經費（包括學費、出席海外研討會之報名費、旅費及購買研究設備費用等）及生活費（以^職在學期間之匯率估算，沙烏地阿拉伯提供之生活費約為我國之 2.6 倍，馬來西亞約為我國之 1.6 倍）；第二類為碩士畢業生取得歐盟研究計畫之獎學金，其研究經費通常亦涵蓋上述項目，另其生活費則約為我國之 1.5 倍。政府人才培育不啻是為了強化進修者之本職學能及專業素質，更是為了提升國家整體競爭力，然其成效並非一蹴可幾、立竿見影，故建議宜長期、有計畫、有系統地投入經費等資源，一方面應持續選派人員赴國外進修，以提升政府部門之人力資源，迎接國際競爭所帶來之挑戰，另一方面宜視進修內容及學校所在區域物價水平等客觀因素，依實際需要及合理性，提供進修人員必要之支援，俾使其無後顧之憂，而能專心投入研究。

- 無線通信及行動寬頻是支援雲端運算及物聯網的重要基礎，無線電頻率資源宜妥為規劃及分配：隨著雲端運算及物聯網的發展，預期大量無線裝置將快速滲透到吾人生活的每一個層面，並帶動網路資料流量飛快地成長，使用的技術可能包括第五代行動通信（5G）、低功耗廣域網路及低功耗／低功耗無線感測元件搭配行動智慧裝置，而無論是指配專屬的頻段或使用免執照的頻段，都須妥為規劃及分配，並充分接軌國際，以利產業的發展及民眾使用的便利性。
- 雲端運算正引領電信服務提供方式的質變，主管機關宜調整傳統垂直管制式的監理體制：雲端運算的實現是建構在虛擬技術的發展上，從電腦主機、計算資源（如 CPU、記憶體、儲存空間等）的虛擬化，到網路的虛擬化（如 AT&T 所提供的「隨選網路（network on demand）服務」），電信服務已可透過類似軟體定義網路（software-defined networking）的技術來提供，消費者取得的網路服務、網路頻寬及虛擬網路架構均得以抽象化並與底層的實體網路有所隔離，故電信服務的提供將更為多元及彈性化，消費者也可透過簡單的網路應用程式界面或 App 來動態調整所使用的網路服務，故傳統上垂直管制式的監理體制宜配合調整，以賦予電信產業更完善的發展空間。

五、參考文獻

Amazon Website (2015), “Amazon EC2 Instances”, Amazon Web Services website, [online] available: <http://aws.amazon.com/ec2/instance-types/> [accessed Apr. 7, 2015]

Benatallah, B. (2011), “14. Auto-Scaling, Load Balancing and Monitoring in Commercial and Open-Source Clouds”, in *Cloud Computing Methodology, Systems, and Applications*, CRC Press, [ebook] 2011.

Buyya, R., Ranjan, R. and Calheiros, R.N. (2009), “Modeling and Simulation of Scalable Cloud Computing Environments and the CloudSim Toolkit: Challenges and Opportunities”, *Proceedings of the 7th High Performance Computing and Simulation Conference (HPCS 2009)*, ISBN: 978-1-4244-4907-1, IEEE Press, New York, USA), Leipzig, Germany, June 21-24, 2009

Continua website (2015), “About Continua”, available: <http://www.continuaalliance.org/about-continua> [accessed: 19 Nov. 2015]

Elderly Accommodation Counsel (2003), “Smart Home - A Definition”, Sep. 2003, [online] available: <http://www.housingcare.org/information/detail-2545-smart%20home-a-definition.aspx>, [accessed: 5 Jan. 2013]

Gaddam, A., Mukhopadhyay, S.C. and Sen Gupta, G. (2011), “Trial & experimentation of a smart home monitoring system for elderly”, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2011, pp.1-6

Grozev, N. and Buyya, R. (2013), “Performance Modelling and Simulation of Three-Tier Applications in Cloud and Multi-Cloud Environments”, *The Computer Journal*, doi: 10.1093/comjnl/bxt107, Sept. 2013.

IEEE (2015), “IEEE Standards Activities in the eHealth Space”, *IEEE Standard Association*, available: <http://standards.ieee.org/develop/msp/ehealth.pdf> [accessed Nov. 19, 2015]

International Telecommunication Union (ITU) (2005), “ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things”, *ITU*, Nov. 2005

Ipbal, W., Dailey, M. N., and Carrera, D. (2014), “Low Cost Quality Aware Multitier Application Hosting on the Amazon Cloud”, in Proc. 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Barcelona, Spain, Aug. 2014, pp.202-209.

ITU (2011), “IoT Standards Roadmap”, *ITU*, Nov. 2011.

ITU-T Y.2060 (2012), “Overview of the Internet of Things”, *ITU-T*, Jun. 2012.

Liang, P.C. (2016), “Cost-effective Design of Real-time Home Healthcare Telemonitoring based on Mobile Cloud Computing”, *Doctoral Thesis, University of Surrey*, available: <http://epubs.surrey.ac.uk/809778/>

McCullagh, P.J. and Augusto, J.C. (2011), “The Internet of Things: The Potential to Facilitate Health and Wellness”, *CEPIS UPGRADE*, Vol. XII, Issue no. 1, Feb. 2011

Microsoft (2010), “The Economics of the Cloud”, *Microsoft White Paper*, Nov. 2010.

OW2 Consortium (2015), “RUBiS: Rice University Bidding System”, *OW2 Consortium*, [online] available: <http://rubis.ow2.org/> [accessed Mar 10, 2015]

Perry, R. and Hendrick, S.D. (IDC) (2012), “White Paper - The Business Value of

Amazon Web Services Accelerates Over Time”, *IDC*, Jul. 2012

Pranggono, B., Alboaneen, D., and Tianfield, H. (2015) “Simulation Tools for Cloud Computing”, in *Simulation Technologies in Networking and Communications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, the US, pp.311-335. [eBook]

Shelter Website (2011), “Shelter Private Rent Watch Report one: Analysis of local rent levels and affordability”, <http://www.shelter.org.uk>, October 2011

The Complete University Guide (2016), “University of Surrey”, available: <http://www.thecompleteuniversityguide.co.uk/surrey> [accessed: Feb. 21, 2016]

University of Surrey Website (2016), “Rankings and League Tables”, available: <http://www.surrey.ac.uk/about/facts/rankings-league-tables> [accessed: Feb. 21, 2016]

ZigBee Alliance (2009), “ZigBee Wireless Sensor Applications for Health, Wellness and, Mar. 2009 Fitness”, available: <http://www.zigbee.org/> [accessed: Apr. 26, 2013]

經濟部 (2010) , ”雲端運算產業發展方案” , 2010 年 4 月 29 日第 3193 次行政院會核定通過

經濟部、研究發展考核委員會 (2012) , ”雲端運算應用與產業發展方案” , 2012 年 11 月 15 日經行政院核定
