



應用 視覺化工具 模擬 建物智慧化防禦 — 輔以 C4ISR 之概念

李秋明／國立臺灣大學土木工程學系 博士生

謝尚賢／國立臺灣大學土木工程學系 教授兼系主任

拜現今科技所賜，在網路通訊發達之餘，物聯網（IoT）技術與設備也愈趨成熟，影像辨識準確度大大的提昇，再加上區域地理資訊數據完整，建築物 BIM 數位與邏輯資訊整合及應用也日漸普及，橫向系統整合能力強，對於特定區域內移動或是未被授權的人或物體等情報資訊的監視、偵查、與收集，可以即時透過雲端資料庫、利用大數據及人工智慧的分析與判讀比對，由中央指揮系統完全監控與管制，一旦發現可疑，系統得以即刻反應處置，避免發生不必要的麻煩問題。值此 21 世紀，工廠自動化、自駕車、無人飛機及機器人的普及應用，都讓我們可以預見未來智慧城市的系統結構必須翻轉，包括智慧建築、智慧社區、智慧交通、民生、知識教育等。智慧城市的基礎架構是為了保障人民的生命財產安全，以及數位網路資訊安全保密，避免因為資訊安全漏洞而影響公部門的行政運作，並造成個資外洩等問題，間接威脅到當事人。

本文透過國防安全系統（C4ISR）的基礎架構，探討當今智慧建築的智慧化防禦，並透過建物 BIM 資訊與 Unity 軟體開發工具的視覺動畫呈現，以臺灣大學土木研究大樓為參考藍圖，並利用該大樓現有的 BIM 資訊，來說明可以應用 GIS 地理資訊系統及結合建置的物聯網（IoT）設備，搭配影像攝影機智慧辨識監視系統，透過視覺模擬建置的一套智慧防護指揮系統來模擬無人機攻擊該大樓時可能出現之狀況，簡稱 NTU-C5ISR，希望藉此得以化解危機。本文利用視覺化的呈現，提醒眾人思考該如何解決未來可能面臨的情境問題。也作為校園防恐攻維安系統的初步探討，進而應用到重要的地標或公眾建物及設施等，以利提升智慧城市保障全體市民的安全規範。

緣起

在智慧城市中，政府需要保障人民的生命財產安全，確保建築物及網路資訊安全^[1]，避免因為天災、人禍或資訊駭客的威脅，導致個人財產及生命安全或隱私遭受威脅。在土木工程所討論的營建管理、交通、房屋結構、水利、測量及大地工程等議題中，皆脫離不開安全相關議題的探討與研究。針對一般住宅的結構健康安全監測（Structure Health Monitoring，簡稱 SHM）^[2] 方法及研究應用討論已非常廣泛，包括橋樑、隧道、高樓、公共建築、維生管道、河川土石流、邊坡及體育館

等。利用感測器如 Fiber Bragg Grating（FBG）^[3]，或物聯網（Internet of Things，簡稱 IoT）感測設備資料收集待測物的結構撓曲破壞變形與溫度的變化，透過有線或無線網路（Wireless Sensor Network，簡稱 WSN）^[4,5] 傳輸到中央控制主機。經由各式的演算法^[5-7] 進行分析實驗或實測收集的資訊，甚至利用人工智慧（Artificial Intelligence，簡稱 AI）^[8] 技術作為最後自動判讀的分析工具，構建早發預警系統（Early Warning System，簡稱 EWS）^[9]。在安全考量下提醒災難現場的人，可以及時避開因結構安全問題造成的危險與災難。因此本文

藉由智慧城市的安全考量，除模擬透過建置建物 SHM (Structural Health Monitoring) 系統平常可以自動收集的資訊外，同時也配合自動化指揮系統 (C4ISR) 基礎架構^[10]，探討當今智慧建築的智慧化防禦，透過一套簡稱為 NTU-C5ISR 的智慧防護自動指揮系統，以系統化的判斷決策來進行模擬以避免外來的災難。本文模擬在未來領空，未經報備登記的無人飛機橫行攻擊台大土木研究大樓。系統透過自動化指揮系統呈現動態視覺化的情境，以利進行校園防恐攻維安系統的初步探討，進而可應用到其他重要的地標建物或公眾建物設施等，來提升智慧城市保障全體市民的安全考量應用。

C4ISR 自動化指揮系統

C4ISR^[10,11] 自動化指揮系統是在二十世紀九零年代美國軍方所發展出的智慧型作戰系統。主要功能包含指揮 (Command)、控制 (Control)、通訊 (Communication)、計算 (Computing)、情報 (Information)、監視 (Surveillance)、及偵察 (Reconnaissance) 七大子系統功能。利用對情報的收集分析與監視，及早發現威脅，啟動預警的機制，如此便可即時發揮該有的軍備及戰力。圖 1 為 C4ISR 的系統架構圖。若比喻成人體的結構來看，人的四肢、眼、耳及鼻猶如感測器，神經系統將外界所接收到的訊息經由中樞神經傳輸到大腦，大腦最後可以自動判斷目前的處境是吉是凶，並立即採取應變措施。C4ISR 就是類似的運作機制，先從操作觀點確認作戰架構，藉此了解作戰需求，接著再從技術觀點來了解技術架

構以利制定各規範標準，最後從系統觀點來將各子系統的架構轉成實體的需求，流程如同系統工程中所討論的系統架構 (System of Systems, 簡稱 SoS)^[12,13]。正如韓孟麒博士^[14]所討論 C4ISR 自動化指揮系統透過感測器平台建置巡航巡視系統資訊，並透過例如 ZigBee 等無線設備傳輸，結合軍隊及武器的運用來制敵。目前物聯網 (IoT) 感測科技發展漸趨成熟，不僅帶動了應用系統及相關產業的技術，包括感測器的製作、設計、互動性、功能彈性、相互連結性與緊急狀況時的智慧判斷，也協助軍隊提昇了決策品質。國家中山科學研究院^[15]目前也建構了一套高度仿真之虛擬合成化戰場演訓環境，利用 C4ISR 結合虛擬實境遊戲等來進行建設性的模擬，實施跨系統或跨軍種之組合式訓練，用來提高部隊聯合作戰能力；同時也訂定了共同標準規範，目前已由陸軍完成試行階段，未來各軍種將配合政策逐步擴大應用規模，以確認合成化戰場在聯戰訓練及未來性上的執行效益。

商業及農業方面也都有利用 C4ISR 概念來執行設計及運作的商業模式，研究探討包括供給與需求、業務、生產、倉儲、採購、後勤支援、行銷到服務的案例^[10,16]。各產業更可以操作成為一個生態結構鏈。若簡化 C4ISR 的架構思維，以商業應用為例，可以分為第一部分是現場情資收集與傳遞，例如商品的規格、特性、訂價、客戶之狀況，或者是進、出貨，與庫存量，甚至是退貨貨品、問題狀況、數量等；第二部分為後勤資源與情報，市場資訊系統或大數據庫、倉儲管理系統，或客戶服務系統 (Customer

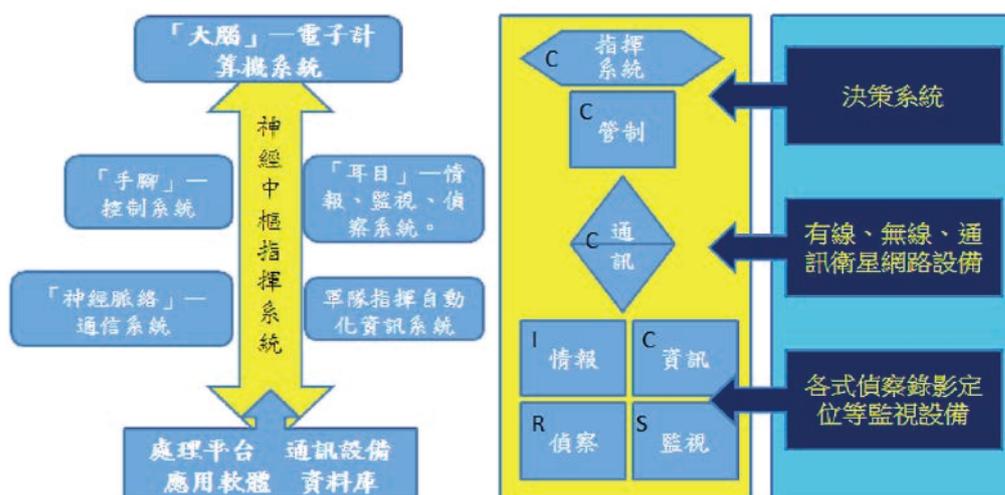


圖 1 C4ISR 系統架構 (本文整理)

Relationship Management，簡稱 CRM)；第三部分為橫向聯繫協調，例如公司的電腦化系統 (Enterprise Resource Planning，簡稱 ERP)，採購供應商系統 (Supply Chain Management，簡稱 SCM)，及物流管理系統 (Logistics) 等後勤支援；最後則是指揮與回應判斷，意即最高決策管理判斷，包括是否調整市場訂價策略、回收及退換貨政策、外包合作廠商品質營運策略等的綜合性判斷整合。整個架構系統關係到公司營運的績效與品質，以及是否能達到董事會所訂定的目標與利潤的多寡。以目前透過大數據資料庫的資料探勘分析，就可以產生公司的商業智慧 (Business Intelligence，簡稱 BI)，這些都是由不同子系統的運作所產出的效益。若相關人員可以在平時以此架構平台進行系統訓練，應可以提升整家公司的運作效益。

NTU-C5ISR 模擬系統

基於上述的 C4ISR 理論架構基礎，本文分享筆者在台大土木研究所大樓所模擬建置的大樓防禦與反擊安全系統 NTU-C5ISR 的經驗。圖 2 為 NTU-C5ISR 系統的模擬架構。本系統架構採用土木研究大樓的 3D BIM 模型資料庫，建置 AI 人工智慧引擎，並利用 IoT 感測設備做為當事件發生時的前端情報資訊收集設備，利用通訊無線網路 4G、5G 或 WiFi 傳輸設備，把啟動的事件資訊或物件特性、圖像、及地理位置坐標等資訊，傳送至中央控制後台 (NTU-C5ISR) 的系統資料庫。一旦事件的相關資訊進入中央控制後台後，影像辨識引擎及

地理資訊子系統引擎即會啟動，並自動將辨識後的結果回傳至中央指揮控制系統，同時透過連網的中間傳輸機制，連續觸發所有相關的警告訊息，並連動啟動智慧設備排程引擎，透過不同資訊的判讀進行橫向自動溝通。而中央指揮控制系統則可以藉由資訊判讀，立即判斷並啟動防禦反擊機制，如緊急告警、逃生設定指引方向機制，或災後救災活動，將事件的影響範圍縮到最小。即時狀態訊息則可利用網路傳輸中間媒介架構，例如 DDS (Data Distribution Service) 的即時傳輸功能 [17]，透過事先定義的事件 QoS (Quality of Service)，讓在同一個網域內的任何 IP 位置，都能藉由個人手持設備將即時資訊傳遞到所有位在該建築物內的人員。緊急通知功能則可以利用擴增實境 (Augmented Reality, AR)，提供現場人員疏散導引，如同「基於 BIM 之擴增實境輔助逃生系統」一文所述 [18]，降低災害所造成的傷亡。利用 C5ISR 系統的資訊溝通介面 (Data API) 也可以開放提供給其他早發預警、即時監控、指揮、或應變子系統使用，例如：建築物外觀透過無人機定期巡航建物安全系統、建物定期檢修維護系統、防恐攻事件監控系統、颱風過後應變與修復管理系統，以及災後巡視及復原指揮系統等。

NTU-C5ISR 模擬系統開發展示

本文根據上述的模擬系統架構，模擬假設以無人機攻擊土木研究大樓。而本展示系統利用 Unity 遊戲引擎作為動態模擬無人機送貨巡航，結合土木研究大樓 3D BIM 模型資訊 (如圖 3)，透過人工智慧 AI-BIM 分

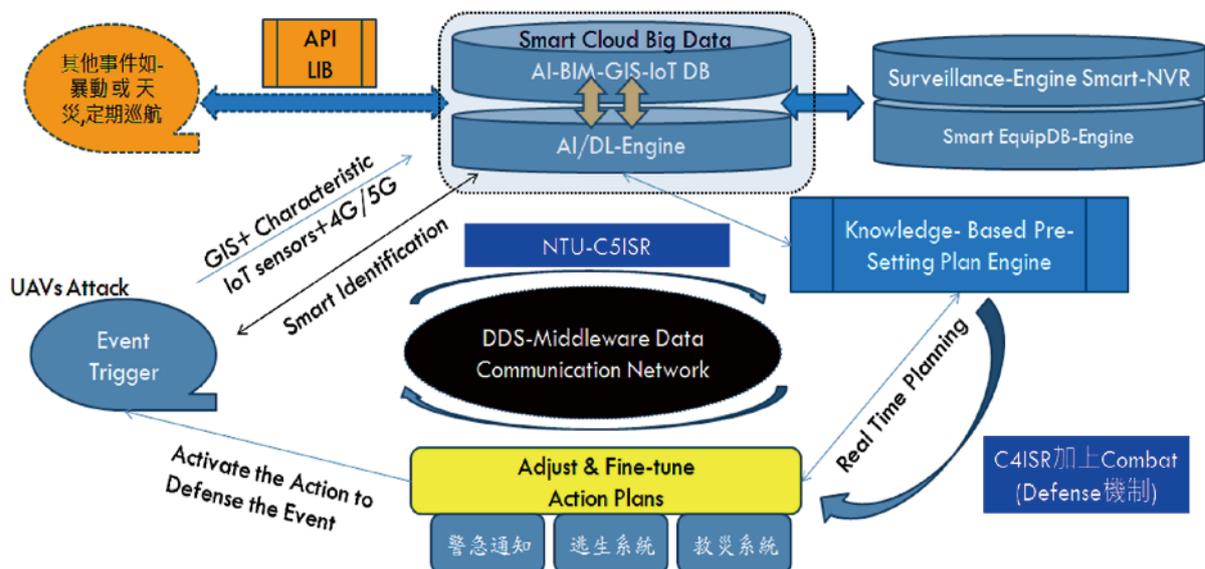


圖 2 NTU-C5ISR 架構 (本文繪製)

析引擎預估判斷建築物內人員出入的數量（如表 1），依此狀態若發生攻擊事件時，逃生計畫將依照時間並根據房間的人口數量作運算判斷並即時顯示逃生路線（如圖 4）。

本模擬系統透過 Java SE 工具所提供的標準 Wrapper 資料類別來包裝並快速收集大量 UAV 圖片，經過 Java 編譯運算處理篩選後，安排適當的訓練資料集做為測試庫，利用卷積神經網絡（Convolutional Neural Network，簡稱 CNN），透過 GPU 快速訓練模型，分析精確度及損失函數，修正所訓練的參數，再經過多次的訓練以提升 UAV 影像辨識率。例如辨識判斷無人機型屬於戰略、戰術、還是特殊任務的任一種類型，以及其屬於何種分類類別（例如：微型、小型、中型、攻擊型...）、所屬縮寫代號，航程，飛行高

度、續航時間等。透過人工智慧判斷這些資訊後，便可快速精準判定其是否為合法申請的無人機；若判定為不經意闖進或具惡意的無人機，本系統將啟動反制措施，透過約束快速驅離或擊落的機制，避免大樓發生立即性的危險。圖 5 說明 BIM、GIS、物聯網（IoT）及影像感測與 AI 人工智慧引擎資訊處理之間的關係示意圖。圖 6 呈現模擬系統運作時的動態展示，其中左上角的第一張圖片顯示有 UAV 進入監測區時，系統自動辨識並進行識別與記錄追蹤；左下角的第二張圖片顯示系統判斷兩架非預約或管制型號的無人機進入監控區，並從右上角的第三張圖中判斷出該兩架無人機屬於誤闖，大樓恐有被攻擊之疑慮，於是智慧型指揮系統綜合各方訊息判斷必須即刻將這兩架無人機驅離或者擊落。而右下角的第四張圖片即為經過系統判斷

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	FloorName	Description	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	RoomTag	UsableHeight	GrossArea	NetArea
房間 610	pc0065666@caece.net	2017-09-23T06:25:35	n/a	6F	研究室	Autodesk	房間	954406	n/a	n/a	17.1216	17.1216
房間 611	pc0065666@caece.net	2017-09-23T06:25:35	n/a	6F	研究室	Autodesk	房間	954408	n/a	n/a	17.1216	17.1216
房間 612	pc0065666@caece.net	2017-09-23T06:25:35	n/a	6F	研究室	Autodesk	房間	954410	n/a	n/a	11.7639	11.7639
房間 Vlab	pc0065666@caece.net	2017-09-23T06:25:35	n/a	6F	視覺實驗室	Autodesk	房間	954412	n/a	n/a	11.6639	11.6639
房間 Clab	pc0065666@caece.net	2017-09-23T06:25:35	n/a	6F	創意實驗室	Autodesk	房間	954414	n/a	n/a	17.1216	17.1216

圖 3 土木研究大樓 BIM 模型資訊

表 1 時間與空間內人口數的統計 — 以土木研究大樓 6 樓為例

時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
房間 610	15	20	25	26	21	15	25	25	25	15	8	5	3	3
房間 611	10	15	20	20	13	10	18	20	20	16	12	10	6	5
房間 612	5	8	10	10	8	3	6	10	10	10	4	2	1	2
房間 vlab	2	36	40	40	24	5	35	42	42	28	5	6	4	3
房間 clab	0	0	0	2	5	4	2	0	0	2	5	6	3	2

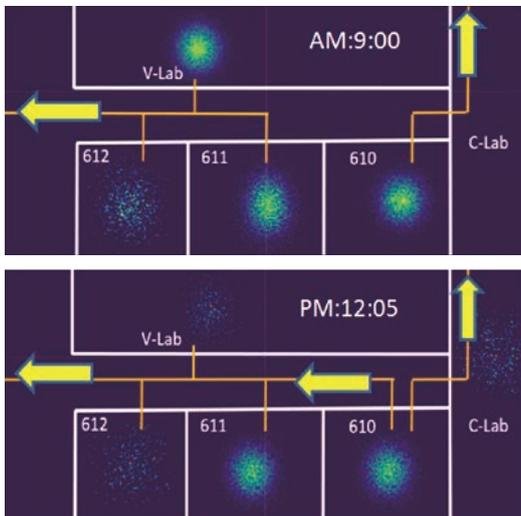


圖 4 依照不同時間規劃逃生路線

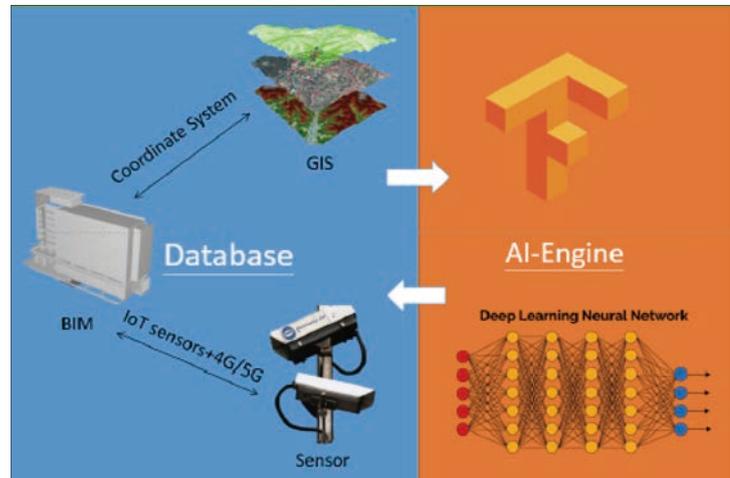


圖 5 BIM、GIS、物聯網（IoT）及影像感測與 AI 人工智慧資訊處理關係示意圖

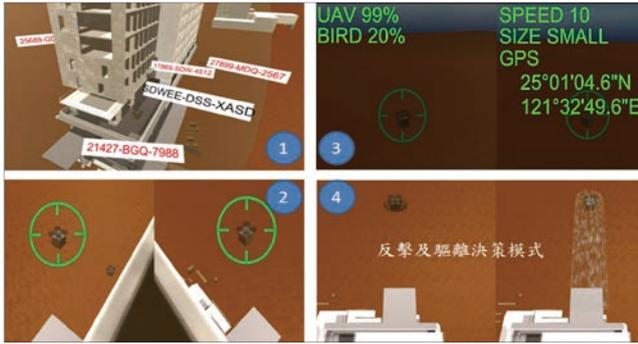


圖 6 NTU-C5ISR 系統展示執行驅離入侵無人機

後所下的決策，透過反擊設備將其中一架予以驅離，另一架無人機則用網子設備以驅補的動作予以擊落。利用視覺化模擬系統的好處是，可以進行不同情境或狀況的模擬，並透過相關的損害評估提供後續的防禦策略決定系統做參考。

應用 C4ISR 於公眾安全議題之國外案例

近幾年各國在公眾安全的議題上著墨不少，尤其無人機的製造技術已經越來越成熟，從國防軍用到商用機皆有更多元的用途。重要地標或建物遭受有心人士利用無人機攻擊或發生意外撞擊的可能性也將越來越高。反無人機系統大廠例如 Blighter^[19]、Chess Dynamics Ltd.、Enterprise Control System Ltd. 等，目前的技術已經可以做到從偵測（範圍 10 公里，100 平方公分，自動紅外線攝影機追蹤）到反擊擊落行動約 10 ~ 15 秒內完成（擊落方式也有許多，包括頻率干擾、撒網、訓練飛鳥 - 如老鷹、或其他各種方式）。市場上許多廠商也陸續提供各種多元方案，未來的技術勢必日新月異突飛猛進。相對地，攻擊的工具與手段也將越來越凌厲。如何有效地防範，公部門除了制訂法規管控以外，部署實質的防衛系統也已成爲未來的一大課題。美國太空總署（NASA）^[20] 自 2017 年 11 月起，便開始著手 Urban Air Mobility (UAM) 計畫，研究如何使無人機能在都市裡安全地進行送貨，同時成爲一個有效率、即時、安全，並自治無虞的運輸系統。目前 NASA 與 Uber 攜手合作，將此系統命名爲「空中計程車」運輸系統，預計將在 2020 年提供搭載人及貨物使用^[21]。

中國的華為公司^[22] 則是利用攝影機的人臉辨識技術來建置 C4ISR 協作架構平台，開創了安全視屏雲平台 (C-C4ISR)，用於監控公眾安全。此外，華為也與其他企業合作進行技術整合，包括從海量的人員視訊資

料中，精進核心辨識技術（目前所建置的系統，在茫茫人群中從追蹤人物目標到找到目標，只需約 7 秒鐘），同時也能進行危險物品辨識及人群聚集分析等，以統一告警與統一監控來解決公共安全問題。雖然此類監視系統之應用牽扯到公眾隱私保護問題，然而對治安的維護確實可以達到很好的效果。

結論

本文探討以 C4ISR 自動化指揮系統的架構爲基礎，以前端情報的收集及完善的通訊基礎網路，結合 3D 模型建物資料，模擬建物在遭受不預期事件（例如無人飛機）的威脅與破壞情境下，實作出 NTU-C5ISR 系統架構，並展示視覺化系統運作之動畫。藉由系統動畫模擬的呈現，可以在新建或規畫設計重要建物的時，將防禦系統納入考量。在邁入智慧城市時代的此時，期待政府能更保障人民財產及安全的前提下，可以建置參考規範。未來可以實現防禦指揮系統運作及搭配更先進的物聯網設備與人工智慧的輔助判斷，在管制範圍內及早發現不合法的人、機等物體的攻擊，避免不必要的災害發生，並降低建物財產的損失，達到智慧化的防禦。

誌謝

感謝台大土木系林怡萱、趙君傑、吳泓錡、及黃伯凱等人協助完成本文的相關資訊收集與展示系統的開發實作。並特別感謝台大土木 BIM 研究中心張國儀總編輯的協助校閱。

參考文獻

1. Breining, C. and Nunez J. (2014), "Orchestrating Infrastructure for Sustainable Smart Cities", International Electrotechnical Commission, <http://www.iec.ch/whitepaper/smartcities/>.
2. Klikowice, P., Salamark, M. and Poprawa, G. (2016), "Structure Healthy Monitoring of Urban Structure", *Procedia Engineering*, Vol. 161, 958-962.
3. Zhang, X., Wang, P., Liang, D., Fan, C. and Li, C. (2014), "A Soft self-repairing for FBG Sensor Network in SHM System based on PSO-SVR Model Reconstruction", *Optics Communications*, Vol. 343, 38-46.
4. Alonso, L., Barbarán, J., Chen, J., Díaz, M., Llopis, L. and Rubio, B. (2018), "Middleware and Communication Technologies for Structural Health Monitoring of Critical Infrastructures: A Survey", *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 56, 83-100.
5. Gao, Y. and Spencer, B.F. (2008), "Structural Health Monitoring Strategies for Smart Sensor Networks", NSEL Report Series Report No. NSEL-011, May 2008.
6. Sternal, M. and Dragos, K. (2016), "BIM-Based Modeling of Structural Health Monitoring Systems Using the IFC Standard," 28. Forum Bauinformatik, 19-21. September 2016, Leibniz Universität Hannover.

7. Ng, C-T. (2014), "Application of Bayesian-designed Artificial Neural Networks in Phase II Structural Health Monitoring Benchmark Studies", Australian Journal of Structural Engineering, Vol. 15, No. 1, 27-36.
8. Strov, A. (2017), "Cognitive Sensor Technology for Structural Health Monitoring," The 2nd International Conference on Structure Integrity (ICSI 2017), Funchal Madeira, Portugal, Procedia Structural Integrity, Vol. 5, 1160-1167.
9. Wang, J., Fu, Y. and Yang, X. (2017), "An Integrated System for Building Structural Health Monitoring and Early Warning Based on an Internet of Things Approach", International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 13, issue: 1.
10. 林千文 (1999) ,「資訊戰 — C4ISR 簡介」, 國立海洋大學, http://www.stu.ntou.edu.tw/MemberSites/Uploads/military/%7B21567557-0908-4FD3-BB50-C7D73E68B2A8%7D_%E8%B3%87%E8%A8%8A%E6%88%B0%E2%94%80C4ISR%20%E7%B0%A1%E4%BB%8B.ppt, 2018/08/26.
11. 台灣 Wiki ,「C4ISR 系統」, <http://www.twiki.com/wiki/C4ISR%E7%B3%BB%E7%B5%B1>, 2018/08/26.
12. Worden, K., Cross, E.J., Dervilis, N., Papatheou, N. and Antoniadou, I. (2015), "Structural Health Monitoring: from Structures to Systems-of-Systems", IFAC-PapersOnLine, 48-21 (2015), 001-017.
13. Beihoff, B., Oster, C., Friedenthal, S., Paredis, C., Kemp, P. Stoewer, H., Nichols, D. and Wade, J. (2014), "A World in Motion System Engineering Vision 2025", International Council on Systems Engineering (INCOSE Foundation).
14. 韓孟麒, 「以大型系統理論為基礎的 C4ISR 系統」 <http://slidegur.com/doc/1133116/%E4%BB%A5%E5%A4%A7%E5%9E%8B%E7%90%86%E8%AB%96%E7%82%BA%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E7%9A%84c4isr%E7%B3%BB%E7%B5%B1>, 2018/08/26.
15. 國家中山科學研究院, 「合成化戰場」, http://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=36&catalog=25, 2018/08/26.
16. 科技產業資訊室, 2015/3/13, 「系統體系與物聯網服務模式設計案例」, <http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=10852>, 2018/08/26.
17. 郭章良、李秋明、吳軒竹、謝尚賢 (2017), 「基於 BIM 的主動式防災通知系統之即時通訊架構設計」, 2017/07/07-08, 廣州第十二屆中國城市住宅研討會。
18. 楊懿 (2018), 「基於 BIM 之擴增實境輔助逃生系統」, 碩士論文, 台北: 臺灣大學土木工程研究所。
19. Blighter Surveillance Systems Ltd., <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html>, 2018/08/26.
20. NASA (2017), "NASA Embraces Urban Air Mobility, Calls for Market Study", <https://www.nasa.gov/aero/nasa-embraces-urban-air-mobility>, 2018/08/26.
21. Reuters (2018), "Uber, NASA Partner to Explore 'Urban Air Mobility' in Quest for Flying Taxis", <https://gadgets.ndtv.com/transportation/news/uber-nasa-parner-to-explore-urban-air-mobility-in-quest-for-flying-taxis-1849516>, 2018/08/26.
22. Huawei (2017), "Huawei Releases C-C4ISR Collaborative Public Safety Solutions – Launching first all-cloud and matrix intelligence Video Cloud Solution and Crisis and Disaster Management Solution at Global Safe City Summit 2017", <https://duncannagle.com/huawei-releases-c-c4isr-collaborative-public-safety-solutions-launching-first-all-cloud-and-matrix-intelligence-video-cloud-solution-and-crisis-and-disaster-management-solution-at-global-safe-city/>, 2018/08/26.



Trimble Choose the software for concrete construction.

Tekla

Constructible BIM software for concrete construction

Visualize and communicate

Import data rich model items straight from the producer

Quantity, layout, forms and steel

ECS 歐亞電腦股份有限公司
ENGINEERING COMPUTER SERVICES TAIWAN CO., LTD.

台北 TEL : (02) 87722966 台中 TEL : (04) 23750756 高雄 TEL : (07) 3363422
www.ecs-ap.com