

出國報告（出國類別：考察）

## 第二十六屆營建自動化及機器人 國際研討會

服務機關：內政部建築研究所

姓名職稱：林谷陶 研究員

派赴國家：美國

出國期間：98 年 6 月 20 日至 7 月 1 日

報告日期：98 年 9 月

## 摘 要

本案出國計畫屬本所執行「建築產業技術發展中程綱要計畫」、「無線射頻辨識(RFID)於建築產業之應用計畫」項下核定編列之預算辦理。

本次國際營建自動化暨機器人協會(IAARC)為主體之「ISARC2009 第二十六屆營建自動化機器人國際研討會」,是由美國德州大學奧斯丁校區負責籌辦,研討議題除了延續以往營建自動化領域結合先進工業化、高效率與國際化之科技技術外,更強調近年來所重視的整體建築或營建構造物之永續性,及其生命週期的資訊應用,因此本次研討會除營建自動化的傳統議題仍受重視外,另有大量案例使用無線辨識(RFID 技術),及結合各種演算法、地理資訊系統等全方位的建築資訊系統的研究開發與發表。

參加本次研討會的意義在於：

- 1.蒐集國際當前營建管理、資訊科技、機器人科技、營建自動化、自動化資料擷取與監控等之國際營建技術及無線射頻辨識(RFID)技術相關最新研究發展成果與經驗,提供國內規劃產業技術發展之參考,建立及推動經驗交流與合作聯繫管道
- 2.訪問美國學術機構有關土木建築之實驗研究發展方向,可做為我國推動相關實驗研究工作借鏡及參考。此外並能瞭解營建產業最佳實務成果,如何實際於產業界之推廣應用。

本次除了參加出國主要行程之研討會外,拜訪總部同樣位於奧斯丁之美國營建產業研究所(Construction Industry Institute),該所之成立係由美國營建業者集資成立,並與德州大學奧斯丁校區之土木、建築、營建管理系所學者密切合作,其研究方向完全遵照業界需求而訂。研發成果以知識管理理念儲存應用,並建立明確的案例應用績效指標,各應用的營建管理案例皆與該研究所密切互動,建立完整的評估資料庫,實為成功之營建技術最佳實務及輔導產業應用方法及機制,可供我國輔導建築產業發展之規劃參考。

## 目 次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 壹、目的                                   | 1  |
| 一、前言                                   | 1  |
| 二、目的                                   | 2  |
| 貳、過程                                   | 5  |
| 一、研討會籌辦與組織架構                           | 5  |
| 二、出席會議與行程                              | 5  |
| 三、會議議程與重要議題                            | 7  |
| 四、參訪美國營建產業研究所                          | 22 |
| 五、參訪德州大學奧斯丁校區                          | 24 |
| 參、心得                                   | 26 |
| 肆、附錄                                   | 27 |
| 一、營建轉折點                                | 28 |
| 二、應用熱影像於地下水道幹管裂縫之偵測與定位                 | 31 |
| 三、RFID 協助建築構件生命週期管理之建築資訊系統資料應用         | 36 |
| 四、營建技術系統化創新之發展與應用                      | 43 |
| 五、營建自動化機器作業用輕型 3D 雷射雷達                 | 50 |
| 六、預鑄與模組營造產業之自動化                        | 55 |
| 七、運用閃爍式雷射雷達 3D 資料於自動化營造設備操作之快速 3D 物件塑模 | 61 |
| 八、以小波分析開發牆面瓷磚剝落之自動化檢查機器人與診斷方法          | 65 |
| 九、營造位置計算之資料整合模型                        | 68 |
| 十、服務導向的下一代智慧型營建供應鏈管理整合資訊架構             | 73 |
| 十一、建築內部自動化建築資訊模型系統以改善建築資訊系統導向的數量抓取效率   | 79 |
| 十二、建築物運用無線感測網路的性能指標評估                  | 83 |

# 第26屆營建自動化及機器人國際研討會

## 壹、目的

### 一、前言

ISARC 營建自動化及機器人國際研討會(International Symposium on Automation and Robotics in Construction)，是由 IAARC 為主體組織辦理之國際研討會，1984 年在美國匹茲堡首次舉辦，當時只有美國、日本、與芬蘭三國參加，迄今二十五年。先後在歐洲、日本、韓國、台灣及美國各地輪流舉辦，台灣歷年也因積極參與，也在 2000 年爭取於台北主辦，由台灣大學成功的負責籌辦。

IAARC 國際營建自動化及營建機器人協會 ( International Association for Automation and Robotics in Construction )，此一國際性組織主要是在土木建築工程等各種營建領域，專注於機械化、自動化、資訊科技、規劃設計與管理邏輯，以及營建機器人應用等有關營建業有關研究應用事項。其會員不限於營建相關營建造業、顧問業、建築師、軟硬體開發商的使用者，還包含製造業、從事研究之專家學者。此外當然更歡迎其他相關產業部門或政府機構的組織單位參加(不可否認的，不論來自政府組織的經費或政策走向的支持，都是促成研究開發，甚至應用的主要因素)。

IAARC 的目標宗旨如下：

1. 鼓勵與促進營建自動化與營建機器人(ARC)科技之發展與合作。
2. 促進與建構 ARC 科技有關資料之傳播、交流、公開發行、蒐集與共享機制。
3. 促進基本的 ARC 研究，並推動先進科技的研究，實驗與調查，實地測試以及的應用。
4. 協助營建業者，有關自動化與機器化之作爲、應用需求的了解。

## 二、目的

自政府七十八年起推動「產業自動化方案」，將營建產業納入推動範圍，本所即負責營建自動化項下一建築自動化之推動；八十八年後改以「產業自動化與電子化方案」推動，以順應電子化時代之需求。

建築自動化推動初期，係以引進先進國家工程技術，研發本土化自動化技術，建置自動化資訊系統，以及提供業界自動化技術諮詢服務等，藉此提升國內建築工程品質，降低營建成本，以強化廠商之競爭力為目標。八十九年至九十四年以前，因應我國加入 WTO 等國際組織，以及政府採購法之頒佈施行之國際化的競爭環境。建築自動化除了廣續自動化技術面，及資訊科技之應用探討外，乃導入電子化與企業再造觀念及作法，俾能跟上時代的脈動。

於此營建自動化計畫下，內政部建築研究所其實也一直持續關注相關先進技術與觀念的發展趨勢。因此，除了各界所瞭解自動化推動項目外，建築智慧化、開放式建築、無線射頻辨識(RFID)技術、建築資訊系統在此計畫下，都持續累積有一定的研究能量，並與世界最新發展保持同步。並因此於九十四年起歷次的行政院產業科技政策會議及計畫下，得以配合提出相關營建產業的推動方案。

然而建築產業技術、智慧化居住空間、無線射頻辨識(RFID)技術等三項科技計畫，很快的即將在九十九年完成四年為期的階段工作，為了收集及了解各國營建產業技術與科技發展走向，乃再爭取及參加本次 2009 年於美國德州舉行之研討會（ISARC）。

政府機關因受限出國預算之編列，未能每年派員參加，但觀察近年來近年來各屆 ISARC 會議，國內有營建科系之各大學院校教授、研究生均能利用此一國際舞台，發表論文、研習汲取先進知識，增長見聞，以強化國內營建自動化、機械化之科技。

本次參加國際營建自動化暨機器人協會（IAARC）主辦之

「ISARC2009 第二十六屆營建自動化國際研討會」。會議由美國德州大學奧斯丁校區負責籌辦，研討主題重點如次，正是本所推動建築產業技術、智慧化居住空間、無線射頻辨識(RFID)技術，所需要了解世界各國目前發展現況項目如下：

5. 自動化資料擷取與監控－射頻辨識(RFID)以自動資料收集與資訊儲存技術出現，所登載的資料透過生命週期於不同階段過程的運用，目前已在營建產業領域廣泛的應用中。
6. 管理與社會議題－本項主題著重社會科技改變創造新機會，自動化讓非製造業實現工業化生產。而在人口變遷的社會上，機器人的使用不僅可改善施工，而且也提供了較佳的生活環境。也部分探討了在極嚴峻的環境情況下，獨立系統與自動化可降低對生態造成衝擊。
7. 機器人科技－營建自動化、機器人，逐漸與自動導航、逆向工程、品保/品管、進度管制與安全上等等結合導入應用。發展應用領域方面則有動態行動平台之設計概念進行中，還有應用在像焊接、栓緊與建材接合，3D 自動化辨識與塑模對於自動化重型設備操作等精確需求的營建自動化機器作業上。
8. 建築資訊系統－營建產業中，不同使用者之間的有效資訊共享與交換顯然需要。此外，機具構件的資訊應透過生命週期來管理，而且便於各個產業使用者存取。在所有專業人員的生命週期方面，BIM 正以一種資訊創造、分享、交換與管理的方法出現。
9. 資訊與運算科技－近年來營建產業未了增進物流、人力、資訊、財務等資料整合的應用，不只應用 RFID 無線射頻辨識技術，也大量採用 GIS 地理資訊系統、GPS 衛星定位等等技術，於營建領域的各種整合解決方案。然而後端都需要資料的擷取與整合運算科技的運算，才能真正獲得所需的信賴度，及容易操作了解的界面與資訊。
10. 其他與尖端科技發展－技術創新已成為營造業進步的主要驅動力。然而以往因為缺乏系統化創新，相對於其它產業，像 ICT 與

生物科技業，營造技術的進步就較為緩慢。因此，本次主題，特別鼓勵提出營建技術系統化創新領域的探討，以期整合數種技術與其它快速發展產業的研究產品，包含專利地圖、根本原因分析、TRIZ、功能塑模、簡化設計等創新理論的應用。

因之，出席本次 ISARC 國際研討會的主要目的：

- 11.蒐集建築技術、智慧化建築與無線射頻辨識(RFID)，以及先進機器人、建築資訊、知識管理等研究發展與應用成果資料，提供我國進一步規劃建築自動化電子化推動計畫與方向的參據。
- 12.強化本所與國際有關機構之實質交流機會，增進國際社會對我國之瞭解與合作，促進營建自動化研發科技交流關係。

## 貳、過程

### 一、研討會籌辦與組織架構

本年度第二十六屆 ISARC 研討會在美國德州首府奧斯丁市舉行，由德州大學奧斯丁校區負責籌辦工作。今年因為受到全球不景氣的關係，IAARC 主辦單位於是與美國土木工程師協會(ASCE)所要舉辦土木工程計算機國際研討會合併。是故本次發表的電腦與資訊運算方面的論文佔有相當大的數量。也是針對營建自動化、機器化之下，電腦與資訊運算演算法最新進的研究與開發的各種活動與項目，也是增進營建自動化與機器人化，這一領域的試驗合作的探索機會。

本次研討會籌辦之組織架構主要參與單位如下：

籌備與主辦單位：德州大學奧斯丁校區土木系

主辦指導單位：營建自動化，機器人化國際協會（IAARC）、美國土木工程師協會(ASCE)

協辦單位：1.德州大學、2.美國營建管理研究所(CII)、3.建築與營建研究創新國際協會(cib)



圖 1 德州大學奧斯丁校區



圖 2 研討會場(AT&T Conference Center)

### 二、出席會議與行程

本次研討會自 6 月 24 日起至 27 日止，於美國德州首府奧斯丁市召開，全部報名人數約為二百人，以美國、韓國、日本、大陸及台灣與會人數最多，尤其大陸、韓國在此營建自動化與營建機器化作業



技術之重視，展現其全力衝刺，擴張營建產業野心展露無疑。

尤其，與韓國率隊參加的領隊，韓國營建研究所副所長談話時，得知其研究所規模達八百餘人，每年預算上百億韓圓，所執行的多為跨領域的實質技術研發之內容，特別印象深刻。

國內參加者，除本所人員外，包括台灣大學土木工程學研究所謝尚賢教授，台灣科技大學營建工程研究所鄭明淵教授、陳鴻銘副教授、周瑞生副教授、謝佑明副教授，國立中央大學朱致遠助理教授、周建成助理教授，國立高雄應用科技大學王裕仁助理教授、私立元智大學工業工程與管理系任恆毅助理教授等與會，均發表營建管理相關論文。

### 本所參與人員行程如下表所示：

| 台灣時間     |                                                        | 美國時間                 |                                                           | 備註               |
|----------|--------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| 6月22日(一) | 台北→6/22 18:40                                          | 洛杉磯(-15)<br>奧斯丁(-13) |                                                           | 台北→              |
| 6月23日(二) | →6/23 06:25 洛杉磯；洛<br>杉磯 6/23 10:00→<br>→奧斯丁 6/23 12:58 | 6月22日(一)             | →6/22 15:25 洛杉磯；洛<br>杉磯 6/22 19:00→<br>→奧斯丁 6/22 23:58    | 洛杉磯 轉機<br>抵達 奧斯丁 |
| 6月24日(三) |                                                        | 6月23日(二)             | 奧斯丁：參訪美國營建產業研究所<br>(CII, Construction Industry Institute) |                  |
| 6月25日(四) |                                                        | 6月24日(三)             | 奧斯丁：參加第26屆國際營建自動化研討會(歡迎茶會)                                |                  |
| 6月26日(五) |                                                        | 6月25日(四)             | 奧斯丁：參加第26屆國際營建自動化研討會                                      |                  |
| 6月27日(六) |                                                        | 6月26日(五)             | 奧斯丁：參加第26屆國際營建自動化研討會                                      |                  |
| 6月28日(日) |                                                        | 6月27日(六)             | 奧斯丁：參加第26屆國際營建自動化研討會                                      |                  |
| 6月29日(一) |                                                        | 6月28日(日)             | 奧斯丁：參訪德州大學土木及建築系所                                         |                  |
| 6月30日(二) | 6/30 07:20 奧斯丁→<br>→6/30 10:15 洛杉磯                     | 6月29日(一)             | 6/29 18:20 奧斯丁→<br>→6/29 19:15 洛杉磯                        | 奧斯丁→<br>洛杉磯 轉機   |
| 7月1日(三)  | 洛杉磯 6/30 16:30→<br>→台北 7/01 06:20                      | 6月30日(二)             | 洛杉磯 6/30 01:30→<br>→台北 6/30 15:20                         | 洛杉磯—台北           |

### 三、會議議程與重要議題

研討會主辦單位安排之主題與議程如下：

1. 自動化資料擷取與監控
  - Automated Data Acquisition and Monitoring
2. 管理與社會議題
  - Management and Social Issues
3. 自動化與機器人應用
  - Robot Technology
4. 設計
  - Design
5. 資訊與運算科技
  - Information and Computational Technology
6. 尖端科技發展
  - Cutting Edge Development
7. 感測
  - Sensing
8. 行動 / 穿戴式運算
  - Mobile/Wearable Computing
9. 生命週期評估與永續基礎建設
  - Life-cycle Assessment and Sustainable Infrastructure

在實際執行上，本次研討會，第一天頒發了 Tucker-Hasegawa 獎頒發給對營建自動化有特殊貢獻之研究人員，此獎以美國德州奧斯丁大學 Richard Tucker 教授與日本早稻田大學 Yukio Hasegawa 教授來命名，兩人均為營建自動化領域的先驅。其屬 IAARC 最高榮譽，主要對此領域產學界人員的貢獻表示認同。

得獎人是由 IAARC 委員會提名來選出來，由 IAARC 主席頒發獎牌與獎金以茲獎勵。

自 1999 年至今，Tucker-Hasegawa 獲獎人員名冊如下表：

| 年份   | 地點             | 獲獎人                        |
|------|----------------|----------------------------|
| 2008 | Vilnius(立陶宛)   | Thomas Bock 教授             |
| 2007 | Kochi (印度)     | Mirosław J. Skibniewski 教授 |
| 2006 | Tokyo(日本)      | Carlos Balaguer 教授         |
| 2005 | Ferrara(義大利)   | Tetsuji Yoshida 博士         |
| 2004 | Jeju(南韓)       | Ronnie Navon 教授            |
| 2003 | Eindhoven(荷蘭)  | Francois Peyret 先生         |
| 2002 | Washington(美國) | William Stone 博士           |
| 2001 | Krakow(波蘭)     | Eugeniusz Budney 教授        |
| 2000 | Taipei(台灣)     | Abraham Warszawski 教授      |
| 1999 | Madrid(西班牙)    | Junichiro Maeda 先生         |

正式研討會於每天開始之前，均有 ISARC 主席團會議。其後於會場同時安排三至四個研討教室同步進行分組研討供各篇論文之發表，依研討會論文輯收錄論文共 140 篇，其中 ISARC2009 論文集部分共 73 篇，ASCE 土木工程計算機國際研討會論文集部分共 67 篇，現場發表均係摘要。分配時程如下各表：

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 星期三, 六月 24 日, 2009 |                        |
| 5:00pm-7:00pm      | WELCOME RECEPTION 歡迎茶會 |

|                    |                 |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 星期四, 六月 25 日, 2009 |                 |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 星期四, 六月 25 日, 2009 | 7:00AM - 8:00AM | Breakfast and Registration 早餐與報到                                                                                   |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    | 8:00AM - 9:15AM | PLENARY/ PANEL 大會 / 專題                                                                                             |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    | 9:15AM - 9:30AM | Break 休息                                                                                                           |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    | 9:30AM-10:30AM  | ISARC Session <b>TH 1A</b><br>Automated Data Acquisition and Monitoring<br>自動化資料擷取與監控                              | ISARC Session <b>TH 1B</b><br>Management and Social Issues<br>管理與社會議題                                                                                                  | ISARC Session <b>TH 1C</b><br>Robot Technology<br>機器人科技                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                    |                 | Managing Data from Instrumentation in Accelerated Pavement Testing (Cadavid, Ayuso, and Mateos)<br>加速鋪面材料試驗的設備資料管理 | 3D Measuring and Marking System for Building Equipment - Developing and Evaluating the Prototypes (Sakamoto, Kishimoto, Tanaka, and Maeda)<br>建築設備 3D 量測與標示系統－原型的開發與評估 | Light-weight 3D LADAR System for Construction Robotic Operations (Cho and Martinez)<br>營建自動化機器作業用輕型 3D 雷射雷達                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                    |                 | Development of a Warning System for Preventing Collision Accident on Construction Site (Chae)<br>營造工地碰撞意外預防警告系統研發  | Time and Cost Evaluation of Construction of Steel Framed Composite Floor with Precast Concrete Floor Structure (Hedao, Gupta, and Ronghe)<br>鋼構造的預鑄混凝土複合樓板結構的營建時程與成本評量 | Experimental evaluation of a robotic bolting device in steel beam assembly (Jung, Chu, Chu, Hong, and Lee)<br>鋼樑組裝之實驗性自動化螺栓設備的評估                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |                 | Detecting and Locating Leaks in Underground Water Mains Using Thermography (Fahmy and Moselhi)                     | Development and Application of A Systematic Innovation Procedure for Construction Technologies (Yu, Wu, and                                                            | FPGA -Based Real -Time Color Tracking for Robotic Formation Control (Yu, Ha, and Kwok)<br>FPGA 式即時彩色追蹤於機械                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                    |                 |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                        | ASCE Session <b>TH 1D</b><br>Design<br>設計<br>BIM's Impact on the Success Measures of Construction Projects (Zuppa, Issa and Suermann)<br>BIM(建築資訊模型)在營建專案成功測量的影響<br>Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects - Potentials and Obstacles (Bormann, Schorr, Obergrisser, Ji, Wu, Günthner, Euringer and Rank)<br>生產資料管理系統於土木工程專案應用之潛力與障礙<br>Predicting Owner's Contingency for Transportation Construction Projects Using Intelligent Computing Techniques (Lhee, |

|                  |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | 應用熱影像於地下水道幹管裂縫之偵測與定位                                                                                                                 | Huang)<br>營建技術系統化創新之發展與應用                                                                                                                                            | 化群隊控制之應用                                                                                                                                                                            | Issa and Flood)<br>運用智慧運算技術預測交通工程專案業主的偶發事件                                                                   |
| 10:30AM--10:45AM | Break 休息                                                                                                                             |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                              |
| 10:45AM-11:45AM  | ISARC Session <b>TH 2A</b><br>Automated Data Acquisition and Monitoring<br>自動資料擷取與監控                                                 | ISARC Session <b>TH 2B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                                    | ISARC Session <b>TH 2C</b><br>Robot Technology<br>機器人科技                                                                                                                             | ASCE Session <b>TH 2D</b><br>Design<br>設計                                                                    |
|                  | Development of an automated safety assessment framework for construction activities (Chi and Caldas)<br>營建工程作業安全評估自動化架構之開發           | A Component-based Approach for Generation of 3 Dimensional CAD Models Using A Construction Component Model Database (Chen and Chu)<br>利用營造元件模型資料庫建構 3D CAD 模型之元件導向方法 | Preliminary Study on Smart Robotic Construction Lift for High - Rise Building Construction. (Cho, Kwon, Lee, You, and Chin)<br>高層建築營造之智慧化揚昇機械之初步探討                                  | Collaborative BIM Modeling Case Study - Process and Results (Kuprenas and Mock)<br>協同式建築資訊模型之探討－程序與結果        |
|                  | An Advanced Wireless System for Emergency Management In Hospitals (Biscotti, Spadoni, Naticchia, and Carbonari)<br>醫院緊急事故管理之先進無線傳輸系統 | A 3 - Dimensional Visualized Approach for Maintenance and Management of Facilities (Chen and Wang)<br>設備維護管理的 3D 視覺化方法                                               | Computer aided production management (Boettcher)<br>電腦輔助生產管理                                                                                                                        | Dynamic Prototyping: The United States Air Force BIM Initiative (Suermann and Issa)<br>動態原型製造：美國空軍建築空間資訊模型倡議 |
|                  | Digital Image Processing for Monitoring of Cable Stayed Bridge Construction (Kim, Ju and Kim)<br>斜張橋營建之數位影像處理                        | Experiences on Implementing a 4D Construction Management Tool in a Design-Build Project (Tsai, Md, Kang, and Hsieh)<br>統包專案工程應用 4D 營建管理的經驗                           | Work State Identification using Primitive Static States - Implementation to Demolition Work in Double - front Work Machine (Kamezaki, Iwata, and Sugano)<br>運用圖元靜態導入雙臂怪手破壞作業之工作狀態辨識 | A Hybrid Learning Strategy for the Control of Window Blinds (Raphael)<br>混合學習策略於視窗屏蔽控制之應用                    |
| 11:45AM-1:00PM   | Lunch 午餐                                                                                                                             |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                              |
| 1:00PM-2:00PM    | ISARC Session <b>TH 3A</b><br>Automated Data Acquisition and Monitoring<br>自動資料擷取與監控                                                 | ISARC Session <b>TH 3B</b><br>Management and Social Issues<br>管理與社會議題                                                                                                | ASCE Session <b>TH 3C</b><br>Design<br>設計                                                                                                                                           | ASCE Session <b>TH 3D</b><br>Cutting Edge Development<br>尖端科技發展                                              |

|  |               |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                          |
|--|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |               | Development of Object Detection Technology Using Laser Sensor for Intelligent Excavation Work (Soh, Lee, and Han)<br>雷射感應物件偵測技術於智慧化開挖作業之開發 | Managing Utility Installation/Maintenance Schedules to Protect Pavement Integrity Using Spatiotemporal Objects Database (Chou, Chen, and Chiu)<br>時空物件資料庫應用於保護鋪面完整之設備安裝維護管理排程 | From Building Information Model to Building Knowledge Model (Fruchter, Schrotenboer and Luth)<br>從建築資訊模型至建築知識模型                                   | A Pragmatic Approach to Develop Financial IT Systems for Small Construction Companies (Hartmann and Johnson)<br>開發小型營造公司財務資訊系統的實方法                       |
|  |               | Human Body Motion Analysis Using 3D Range Imaging Technology (Gonsalves and Teizer)<br>運用 3 次元影像技術於人體運動狀態分析                                | Social Network Analysis of Collaborative Entries in International Construction Projects (Park, Jeong, and Han)<br>國際營建工程專案協同參加之社會網路分析                                         | Design Coordination in BIM Using Ontological Consistency Checking (Kim and Grobler)<br>建築資訊系統本體論連續性檢查的協調設計                                        | A Decision Support Tool for Rapid Assessment and Selection of Engineered Equipment Suppliers (Azambuja, O'Brien and Rangarajan)<br>工程設備供應商快速評估與選擇之決策支援系統 |
|  |               | A Proactive System for Real-Time Safety Management in Construction Sites (Carbonari, Giretti, Naticchia, and Grassi)<br>工地現場即時安全管理之預測系統    | Prediction of Diaphragm Wall Deflection in Deep Excavations Using ESIM (Cheng and Wu)<br>運用向量機推論模式於深開挖地下連續壁預報撓曲                                                               | Interactive Visualisation - a Support for Model Updating (Rafiq and Sui)<br>以互動式視覺化支援模型更新                                                         | Developing a Bidding Game Using High Level Architecture (AbouRizk, Hague and Moghani)<br>運用高階模擬架構開發逐步競價法                                                 |
|  | 2:00PM-2:15PM | Break 休息                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                          |
|  | 2:15PM-3:15PM | <b>ISARC Session TH 4A</b><br>Automated Data Acquisition and Monitoring<br>自動資料擷取與監控                                                       | <b>ISARC Session TH 4B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                                             | <b>ASCE Session TH 4C</b><br>Design<br>設計                                                                                                         | <b>ASCE Session TH 4D</b><br>Cutting Edge Development<br>尖端科技發展                                                                                          |
|  |               | Development of Plant Construction Management System Using RFID Technology (Hatori, Ebata, and Yoshimura)<br>運用 RFID 技術開發工廠營造管理系統           | A Data Fusion Model for Location Estimation in Construction (Razavi and Haas)<br>營造位置計算之資料整合模型                                                                                | An Analysis of Usability Tests on Contractors' Data Interaction Patterns with Project Histories (Kiziltas and Akinci)<br>以專案歷程之承包商資料互動模式進行可用性測試分析 | The Development of a Sustainable e - Learning Model - Using Construction Safety and Health Education as an Example (Lin)<br>永續數位學習模型的開發－以營造安全與健康教育為例     |
|  |               | Stability Monitoring System Implementation for Raul Mare Retezat Dam (Arad, Arad, Veres,                                                   | K - means clustering and Chaos Genetic Algorithm for nonlinear optimization (Cheng and Huang)                                                                                 | A Development Methodology of Virtual Reality Models for Urban Light Rail Transit Projects                                                         | The Potential Use of Insurance as a Risk Management Tool for ADR Implementation in Construction                                                          |

|  |                                                                                                                                               |                                                                                                                         |                                                                                              |                                                                                                                                           |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | and Neiconi)<br>Raul Mare Reteza 水庫穩定性監控系統之應用                                                                                                 | K-means 分群法及混沌基因演算法於非線性最佳化之應用                                                                                           | (Yabuki, Kawaguchi and Fukuda) 都會輕軌運輸計畫虛擬實境模型的開發方法論                                          | Disputes (Song, Peña - Mora, Arboleda, Conger and Menassa) 工程爭議導入美國儲蓄證券之保險作為風險管理工具之可能應用                                                   |
|  | Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects (El-Omari and Moselhi) 營造進度報告之整合式自動資料獲得技術 | Mining Knowledge Management Strategies from the Performance Data of COPS (Yu, Lin, Liu, and Chang) 以通用開放協定的績效資料探勘知識管理策略 | Facility Design for Pedestrian Evacuation Using Cellular Automation (Chu) 運用細胞自動機進行行人撤離之設施設計 | Predictive Simulation as a Decision Support System to Manage A/E/C Global Teamwork (Ioannidou and Fruchter) 預測式模擬作為決策支援系統之建築/工程/營建的全球團隊管理 |

| 星期五, 六月 26 日, 2009 |                 |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |
|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 星期五, 六月 26 日, 2009 | 7:00AM - 8:00AM | Breakfast and Registration 早餐與報到                                                                        |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |
|                    | 8:00AM - 9:15AM | PLENARY/ PANEL 大會 / 專題                                                                                  |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |
|                    | 9:15AM - 9:30AM | Break 休息                                                                                                |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |
|                    | 9:30AM-10:30AM  | ISARC Session <b>FRI1A</b><br>Management and Social Issues<br>管理與社會議題                                   | ISARC Session <b>FRI1B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                                                                 | ISARC Session <b>FRI1C</b><br>Robot Technology<br>機器人科技                                                                      | ASCE Session <b>FRI 1D</b><br>Sensing<br>感測                                                                                                                                                      | ASCE Session <b>FRI 1E</b><br>Mobile/Wearable Computing<br>行動 / 穿戴式運算                                                                                                        |
|                    |                 | A social capital perspective to innovation management in construction (Viles and Maas)<br>營建創新管理的社會資本觀點 | Service-Oriented Integrated Information Framework for Next Generation Intelligent Construction Supply Chain Management (Shin, Chin, Yoon, Kim, and Kwon)<br>服務導向的下一代智慧型營建供應鏈管理整合資訊架構              | Using Physics - based Model to Simulate and Visualize Cooperative Erection Activities (Chi and Kang)<br>運用物理基礎模型模擬及視覺化合作建造作業 | Learning Systems for Electric Consumption of Buildings (Berges, Goldman, Matthews and Soibelman)<br>建築物電力使用的學習系統                                                                                 | Mobile Applications for Information Access on Construction Jobsites (Irizarry and Gill)<br>營造工地現場資訊存取之行動式應用                                                                  |
|                    |                 | A Framework of Resource Critical Chain in Project Scheduling (Liu and Shih)<br>計畫排程中資源關鍵鏈架構             | Automated Building Information Modeling System for Building Interior to Improve Productivity of BIM-based Quantity Take-Off (Kim, Chin, Yoon, Shin, and Kim)<br>建築內部自動化建築資訊模型系統以改善建築資訊系統導向的數量抓取效率 | Implementation of a Foldable 3 DOF Master Device to Glass Fitting Task (Chung, Lee, Yi, and Kim)<br>玻璃配件作業摺疊式 3 自由度主要裝置的實作   | A Research Outlook for Real - time Project Information Management by Integrating Advanced Field Data Acquisition Systems and BIM (Hajian and Becerik-Gerber)<br>整合先進現場資料擷取系統與建築資訊系統之即時專案資訊管理研究展望 | ERP Application of Real-time VDC - enabled Last Planner System for Planning Reliability Improvement (Cho, Sørensen, Fischer and Dickey)<br>增進規劃可靠度的企業資源規劃應用即時 VDC 驅動的最後計畫者系統 |
|                    |                 | A research model for architectural meetings to                                                          | Impact of Rapid Automated Tracking of                                                                                                                                                             | Basic Technology towards Autonomous Hydraulic                                                                                | Requirements and Evaluation of Standards for                                                                                                                                                     | Standard Product Models and Project Databases for                                                                                                                            |



|                  |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                 |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | support the implementation of new building technologies through collaboration of brainpower (Gassel, Maas, and Bronswijk)<br>建築會議用研究模型實線智囊合作的新建築科技 | Construction Components on Labor Productivity (Grau, Caldas, Haas, Caldas, and Gong)<br>快速自動化追蹤營造構件在勞工生產力上的影響                                            | Excavator (Yamamoto, Moteki, Shao, Ootuki, and Kanazawa)<br>基本科技朝向獨立液壓挖土機                                                                                                   | Integration of Sensor Data with BIM (Liu and Akinci)<br>感測資料與建築資訊系統整合的需求與評估標準                                                                                                 | Context-aware Information Access and Retrieval in Constr. and Other Engr. Applications (Khoury and Kamat)<br>標準生產模型與專案資料庫在營造與其他工程情境感知資訊存取與恢復的應用 |
| 10:30AM--10:45AM | Break 休息                                                                                                                                           |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                 |
| 10:45AM-11:45AM  | ISARCSession <b>FRI2A</b><br>Automated Data Acquisition and Monitoring<br>自動化資料擷取與監控                                                               | ISARCSession <b>FRI2B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                         | ISARCSession <b>FRI2C</b><br>Automation and Robot Applications<br>自動化與機器人應用                                                                                                 | ASCE Session <b>FRI2D</b><br>Sensing<br>感測                                                                                                                                    | ASCE Session <b>FRI2E</b><br>Cutting Edge Development<br>尖端科技發展                                                                                 |
|                  | RFID and WLAN for Resource Management in Civil Construction (Kim, Ju, Kim, and Kim)<br>無線射頻辨識與無線區域網路於土木營造資源管理之應用                                   | Evolutionary Fuzzy Hybrid Neural Network for Conceptual Cost Estimates in Construction Projects (Cheng, Tsai, and Sudjono)<br>演化式模糊混合類神經網路於營造專案計畫成本概算之應用 | Optimum Control of Vibratory Piling Process (Cotsaftis and Keskinen)<br>震動樁步驟的最佳化控制                                                                                         | Advanced Real - time Monitoring Models for Temporary Structures In Construction (Cheng, Teizer and Faschingbauer)<br>營造工程臨時結構之先進即時監控模型                                        | Topological Information in Geometrical Models of Buildings (Krämer and Huhnt)<br>建築物幾何模型之拓撲資訊                                                   |
|                  | RFID - Assisted Lifecycle Management of Building Components Using BIM Data (Motamedi and Hammad)<br>RFID 協助建築構件生命週期管理之建築資訊系統資料應用                   | Framework to improve mobile robot's navigation using wireless sensor modules (Martinez and Cho)<br>應用無線感測模組改良行動機器人導航架構                                   | Development of an Automated Inspection Robot and Diagnosis Method of Tile Wall Exfoliation by Wavelet Analysis (Inoue, Doi, Okada, and Ohta)<br>以小波分析開發牆面磁磚剝落之自動化檢查機器人與診斷方法 | Monitoring of Construction Performance Using Daily Progress Photograph Logs and 4D As planned Models (Golparvar - Fard, Peña - Mora and Savarese)<br>應用每日進度照片紀錄及4D計畫模型之營造效能監控 | Semantic Tags for Interoperable Construction Workflow (Mutis and Issa)<br>互通使用營造流程的語意標籤                                                         |
|                  | An Analytic Model Combining Monte Carlo                                                                                                            | Computational Models for Reduction of Quarry Waste                                                                                                       | Construction Automation Process Development -                                                                                                                               | An Intelligent Video Computing Method for                                                                                                                                     | Motivation for Computational Support for                                                                                                        |

|  |                |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                               |
|--|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                | Simulation and PSO in Estimating Project Completion Probability of Project Durations and Costs (Jen and Chen)<br>結合蒙特卡羅與粒子群最佳化於計畫延遲完成可能期程及成本估算的一套分析模型                       | For Breakwater Construction Projects (Surati, Varghese, and K)<br>防波堤工程計畫降低採石場廢料之運算模型                                                                                                                         | Advancing the Collaboration between Finland and California (Heikkila, Lasky, and Akin)<br>營建自動化步驟發展－促進芬蘭與加州共同研究                                                                          | Automated Productivity Analysis of Cyclic Construction Operations (Gong and Caldas)<br>循環式營建作業自動化生產力分析之智慧型視訊運算方法                                                                                               | Updating BIMs (Akcemete, Akinci and Garrett)<br>運算式支援 BIMs 更新的動機                                                                                                                              |
|  | 11:45AM-1:00PM | Lunch 午餐                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                               |
|  | 1:00PM-2:00PM  | ISARC Session <b>FRI 3A</b><br>Automation and Robot Applications<br>自動化與機器人應用                                                                                               | ISARC Session <b>FRI 3B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                                                                            | ISARC Session <b>FRI 3C</b><br>Management and Social Issues<br>管理與社會議題                                                                                                                   | ASCE Session <b>FRI 3D</b><br>Life-cycle Assessment and Sustainable Infrastructure<br>生命週期評估與永續基礎建設                                                                                                            | ASCE Session <b>FRI 3E</b><br>Cutting Edge Development<br>尖端科技發展                                                                                                                              |
|  |                | Development of an Automated Inspection Robot and Diagnosis Method of Tile Wall Exfoliation by Wavelet Analysis (Inoue, Doi, Okada, and Ohta)<br>以小波分析開發牆面磁磚剝落之自動化檢查機器人與診斷方法 | An object - oriented framework for spatial interpolation (Pan and Hsieh)<br>空間插入的物件導向架構                                                                                                                       | A Simulation of Community Disaster Prevention Escape in Urban by Cellular Automata (Wen)<br>以細胞自動機模擬都會逃生之社區災害預防                                                                          | Sensitivity Analysis of the Cost Benefit Ratio as a Function of the Level of Service Targets in the Highway Maintenance Budget Allocation Process (Krueger and De La Garza)<br>高速公路維護預算分派步驟之服務目標水準成本效益比功能敏感度分析 | An Implementation Study of the Right - Of - Way Acquisition and Utility Adjustment Process Duration Information (RUDI)Tool (Sohn, O'Connor, O'Brien and Azambuja)<br>正確方法取得及程式調整過程持續性資訊工具導入研究 |
|  |                | Automation in the Prefab Industry - A Technology Outlook (Neelamkavil)<br>預鑄產業之自動化－科技概觀                                                                                     | Rich Knowledge Parametric Tools for Concrete Masonry Design - Automation of Preliminary Structural Analysis, Detailing and Specifications (Cavieres, Gentry, and Al-Haddad)<br>混凝土砂漿設計的豐富知識參數化工具－初步結構分析、細部、規格 | Web - based GHG Emissions Monitoring System for Construction Equipment Working on Project Sites Using Wireless Sensors (Lee, Skibniewski, and Jang)<br>網路導向之溫室氣體逸散監控系統運用無線感測器於工地現場營造設備作業 | Applying Group Method of Data Handling (GMDH) Method to Predict Depth to Bedrock (Chang and Chao)<br>資料群集處理技術於岩床深度預測之應用                                                                                        | Kriging Methods for Traffic Count Data: Anticipating AADT Values in the Texas Network (Wang and Kockelman)<br>克利金法於交通計算資料：預估德州網路之年平均每日交通量 (Annual Average Daily Traffic (AADT))               |

|  |               |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                        |
|--|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |               |                                                                                                                                                  | 的自動化                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                        |
|  |               | Development of a Heuristics - based Task Planning System for Intelligent Excavating System (Lee, Kim, Park, Seo, and Kim)<br>智慧型挖掘系統之啟發式作業規劃系統發展 | Dynamic Simulation for Assessment of Impact of Highway Lane-Closure on Traffic (Hwang)<br>高速公路車道關閉之交通影響之動態模擬評估                              | Applied Real - Time Bayesian Analysis in Forecasting Tunnel Geological Conditions (Leu, Sutanto, and Joko)<br>應用即時貝氏分析於隧道地質狀態預測                                                                                                        | Satisfaction Index for a BOT Project: Continuous Quality Improvement in the Operations Stage (Chou and Kim)<br>BOT 計畫的滿意指標：施工階段持續品質改進                                   | Design of a Decision Support System for Road Incident Detection and Characterization (Moynihan, Fonseca, Brumback and Fernandes)<br>道路意外偵查及表徵之決策支援系統設計 |
|  | 2:00PM-2:15PM | Break 休息                                                                                                                                         |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                        |
|  | 2:15PM-3:15PM | ISARC Session <b>FRI 4A</b><br>Automation and Robot Applications<br>自動化與機器人應用                                                                    | ISARC Session <b>FRI 4B</b><br>Management and Social Issues<br>管理與社會議題                                                                      | ISARC Session <b>FRI 4C</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                                                                                                                                                     | ASCE Session <b>FRI 4D</b><br>Life-cycle Assessment and Sustainable Infrastructure<br>生命週期評估與永續基礎建設                                                                     | ASCE Session <b>FRI 4E</b><br>Cutting Edge Developmen<br>尖端科技發展                                                                                        |
|  |               | An overview of autonomous loading of bulk material (Hemami and Hassani)<br>散裝材料自主裝載概論                                                            | Construction Scheduling Optimization by Simulated Annealing (Koenig and Beissert)<br>模擬退火法最佳化營造排程                                           | Integrating 5D Product Modeling to On-Site 3D Surveying (Heikkila and Kivimaki)<br>整合 5D 生產模型至現場 3D 調查                                                                                                                                 | Assessment of Impact of Urban Growth on the Performance of Critical Infrastructures in Developing Countries (Peralta, Abraham and Mannering)<br>以國家發展關鍵公共建設的績效評估都市成長的影響 | Application of a Visualization Technique for Safety Management (Han, Peña - Mora, Golparvar- Fard and Roh)<br>運用視覺化科技於安全管理                             |
|  |               | Path Re-planning of Cranes Using Real-Time Location System (Zhang, Hammad, and Albahnassi)<br>應用即時定位系統重新規劃起重機路徑                                  | Beyond Knowledge Management Platforms: Design of Organizational Controls in Managing Knowledge (Ho, Hsu, and Lin)<br>知識管理平台之外：管理知識中系統化控制的設計 | Sparse Reconstruction and Geo-Registration of Daily Site Photographs for Representation of As-Built Construction Scene and Automatic Construction Progress Data Collection (Golparvar - Fard, Pena - Mora, and Savarese)<br>每日現場照片之稀疏重 | Data Collection and Analysis of Critical Infrastructure Interdependency Relationships (Chou, Tseng and Ho)<br>資料收集及關鍵公共建設相互依賴關係分析                                       | Visualization of Repetitive Construction Activities in Excel (Lluch)<br>Excel 中反覆性工程作業之視覺化                                                             |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                           |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                   |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                          | 建與地理定位表現竣工<br>工程現場及自動化工程<br>進度資料收集                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                   |
|  |  | An Analytic Model<br>Combining Monte Carlo<br>Simulation and PSO in<br>Estimating Project<br>Completion Probability of<br>Project Durations and<br>Costs (Jen and Chen)<br>結合蒙地卡羅與粒子群<br>最佳化於計畫延遲完成<br>可能期程及成本估算的<br>一套分析模型 | Applying Neural Network<br>Classifier Techniques for<br>Modeling Project Success<br>(Wang, Chen, and<br>Huang)<br>應用類神經網路分類技<br>術於計畫成功塑模 | An Information Strategic<br>Planning Template for<br>Construction Organizations<br>(Ryoo and Artuk)<br>營造組織策略上資訊的<br>規劃範本 | Spatial Clustering Analysis<br>of Water Main Break<br>Events (Oliveira, Garrett<br>and Soibelman)<br>空間群集分析於 Water<br>Main Break 之分析應用 | An Educational Simulation<br>in Construction: The<br>Virtual Construction<br>Simulator (Nikolic, Jaruhar<br>and Messner)<br>工程中教育式的模擬：<br>虛擬營造模擬器 |

| 星期六, 六月 27 日, 2009 |                 |                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                |
|--------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 星期六, 六月 27 日, 2009 | 7:00AM - 8:00AM | Breakfast and Registration 早餐與報到                                                                                                                     |                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                |
|                    | 8:00AM - 9:00AM | PANEL 專題                                                                                                                                             |                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                |
|                    | 9:00AM - 9:15AM | Break 休息                                                                                                                                             |                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                |
|                    | 9:15AM-10:35AM  | ISARC Session <b>SAT 1A</b><br>Automation and Robot Applications<br>自動化與機器人應用                                                                        | ASCE Session <b>SAT 1B</b><br>Design<br>設計                                                                           | ASCE Session <b>SAT 1C</b><br>Sensing<br>感測                                                                          | ASCE Session <b>SAT 1D</b><br>Mobile/Wearable Computing<br>行動與穿戴式運算                                                                                               | ASCE Session <b>SAT 1E</b><br>Life-cycle Assessment and Sustainable Infrastructure<br>生命週期評估與永續基礎建設                                                                                            |
|                    |                 | Development of A Control System for Multi-Purpose Road Pavement Repairing Machine (Kilpelaninen and Jaakkola)<br>多目標道路鋪面修護機器控制置系統之開發                 | An Efficient Scheme for Parallel Parametric - Study in Finite Element Analyses (Hsieh)<br>一項平行參數之高效能架構(組合)於有限元素分析之研究 | Automated Detection of Concrete Columns from Visual Data (Zhu and Brilakis)<br>混凝土梁光學資料之自動化偵測                        | Collaborative GIS for Request of Construction Equipment in Disaster Response (Chen and Peña-Mora)<br>協作式地理資訊系統應用於災害應變之營建設備需求                                      | Visualizing Green House Gas Emissions during the Construction Phase of Infrastructure Projects Using Geo - Spatial Information Systems (Dizaji and Peña-Mora)<br>運用地理空間資訊系統於公共工程營造階段之視覺化溫室氣體逸散 |
|                    |                 | Determination of the International Roughness Index (IRI) using an Autonomous Robot (P3 - AT) (Chang, Kang, Liu, Hsieh, and Tseng)<br>利用獨立機器人測定國際糙度指標 | GIS - Based Road Maintenance Management (Shrestha and Pradhananga)<br>道路維護管理的地理資訊系統                                  | Project Monitoring Methods Exploratory Case Analysis: Industry Responses (Peterson and Fischer)<br>計畫監控方法探討之產業回應案例分析 | Evaluating Alternative Methods for Capturing As-Built Data for Existing Facilities (Rojas, Dossick, Schaufelberger, Brucker, Juan and Rutz)<br>既有設施完工資料擷取之可選擇方法評估 | Development of an Automated Split Control System for Blinds (Olbina and Issa)<br>盲人自動分歧控制系統開發                                                                                                  |
|                    |                 | Design of second - order sliding mode controllers for MR damper-embedded                                                                             | Data Driven Methods to Analyze Wave Buoy Observations (Kambekar,                                                     | A System of Systems Approach to Intelligent Construction Systems                                                     | Expediting Assessment of Damaged Buildings during Disaster Response using                                                                                         | BIM - enabled Integrated Optimization Tool for LEED Decisions (Barnes                                                                                                                          |

|  |                  |                                                                                                                                                              |                                                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                               |
|--|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                  | smart structures (Dalvand, Nguyen, and Ha)<br>智能結構埋置磁流變阻尼器之二階滑動模式控制器設計                                                                                       | Deo, Daga and Sakhare)<br>分析海浪浮標觀測值之資料導向方法                                                            | (Bulbul, Anumba and Messner)<br><br>一套導入智慧化營造工法具系統法技術的系統                                                                                                            | Mobile Adhoc Networks (Mehta and Peña-Mora)<br>應用行動隨建即連網路於災害應變中迅速處理建築物損害評估                                                                          | and Casto-Lacouture)<br>建築資訊系統是帶動 LEED 決議的整合式最佳工具                                                                                             |
|  |                  | Motion Control Of Excavator With Tele - Operated System (Kim, Oh, Hong, Kim, and Hong)<br><br>挖土機行動控制之遠程操作系統                                                 |                                                                                                       | Considering Sensor Characteristics during Measurement - System Design for Structural System Identification (Goulet, Kripakaran and Smith)<br>考量感測器特性於結構化系統辨識之量測系統設計 | Construction of Engineering Domain Ontology through Extraction of Knowledge from Domain Handbooks (Lin, Hsieh, Chou and Lin)<br>透過專門手冊的知識萃取建立工程知識本體 | Development of an Optimisation Approach for the Energy Efficient Buildings (Loh, Dawood and Dean)<br><br>能源高效率建築物最佳方法的發展                      |
|  | 10:35AM--10:50AM | Break 休息                                                                                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                               |
|  | 10:50AM-12:10AM  | ISARC Session <b>SAT 1A</b><br>Automation and Robot Applications<br>自動化與機器人應用                                                                                | ASCE Session <b>SAT 1B</b><br>Information and Computational Technology<br>資訊與運算科技                     | ASCE Session <b>SAT 1C</b><br>Sensing<br>感測                                                                                                                         | ASCE Session <b>SAT 1D</b><br>Mobile/Wearable Computing<br>行動與穿戴式運算                                                                                 | ASCE Session <b>SAT 1E</b><br>Cutting Edge Developmen<br>尖端科技發展                                                                               |
|  |                  | On - Line Process Management of Pavement Laying Using Wireless Communication Technologies (Viljamaa, Kilpelainen, and Pentikainen)<br>運用無線通訊技術於道路鋪設作業之線上流程管理 | Assessment of Performance Metrics for Use of WSNs in Buildings (Jang and Healy)<br>建築物運用無線感測網路的性能指標評估 | Development and Testing of Inertial Measurement System for Indoor Localization (Pradhan, Akinci and Garrett)<br>室內定位慣性測量系統之開發及測試                                    | The Application of Stiffness Corrector in Predicting the Behavior of Vertically Loaded Masonry Wall Panels (Zhang and Zhou)<br>應用於預報垂直載重石造牆版的勁度連接器  | Automated Generation of Construction Schedules Based on the IFC Object Model (Tauscher, Mikulakova, Beucke and König)<br>運用 IFC 物件模型自動化產生營造排程 |
|  |                  | Application of Appropriate Technologies to 3D Local Terrain Modeling in real-time for Intelligent Excavating System (IES) (Yu, Yoo, Kim, Han, and            | Contour Crafting Process Planning and Optimization (Zhang and Khoshnevis)<br>輪廓精製程序規劃及最佳化             | Modeling Buildings for Mobile Robots (Borkowski, Grabska and Palacz)<br>模型化建築物的可動式機械人                                                                               | Auto - calibration of a Camera System Using Image - Alignment (Jog and Brilakis)<br>影像排列技術在攝影系統自動調校上的應用                                             | Estimation of Greenhouse Gas Emission Using Microsimulation Models: The Case of Austin, Texas (Tirumalachetty, Kockelman and Kumar)           |

|  |  |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                         |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | Seo)<br>運用適當技術於即時智慧開挖系統之 3D 局部地形模型                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                             | 個體模擬模型之溫室氣體散發估算－以德州奧斯丁為例                                                                                                                                                                |
|  |  | Rapid 3D Object Modeling Using 3D Data from Flash LADAR for Automated Construction Equipment Operations (Son, Kim, and Park)<br>運用閃爍式雷射雷達 3D 資料於自動化營造設備操作之快速 3D 物件塑模 | Automation of Road Maintenance - Development of Roughness Measurement System for the Quality Control of Gravel Roads (Heikkila and Seppa)<br>道路維護自動化碎石鋪面品質控制之粗糙度量測系統開發 | Providing Local Information for Search and Rescue Using Sensor - Based Local Databases (Ergen, Sariel - Talay and Guven)<br>運用感測器的資料庫提供搜尋及救援所需之當地資訊 | AsphaltOpen - An Intelligent Visualization Tool for Asphalt Concrete Paving Operations (Miller, Hartmann and Dorée)<br>一套瀝青混凝土鋪面作業的智慧化成像工具－ | Representation of Facility Contents and Threats for Supporting Identification of Vulnerabilities in Building Emergencies (Leite, Akinci, Garrett and Akin)<br>設備內容與狀況的表示於建築物緊急情況弱點辨識之應用 |
|  |  | Optimal Manipulation Trajectory and Laying Pattern Generation Algorithm for Brick Handling Robot (Lee, Yu, Lim, Ryu, and Han)<br>磚塊搬運機器人最佳操作軌道及鋪設模式生成演算法             | NIST paper<br>美國國家標準與技術中心報告                                                                                                                                            | GIS and LiDAR Use for Identification of Potential Road Hazard Locations (Pradhan and Rasdorf)<br>地理資訊系統與光達技術於潛在路徑危險位置之辨識                            | Using Generic Algorithms to Improve Crew Allocation Process in Labour-Intensive Industries (Dawood and Al-Bazi)<br>運用基因演算法改進勞力密集產業之人員部署程序   | Ontology - based Job Hazard Analysis Supports (Wang and Boukamp)<br>本體論<br>－<br>以工作危害分析為基礎的本體論                                                                                          |

## 研討主題 簡報場次與篇數

| 研討主題            | 場 次 | 時 間                | 論文篇數 |
|-----------------|-----|--------------------|------|
| 1.自動化資料擷取與監控    | 5   | 6 月<br>25、26 日     | 16   |
| 2.管理與社會議題       | 5   | 6 月<br>25、26 日     | 13   |
| 3.機器人科技         | 3   | 6 月<br>25、26 日     | 7    |
| 4.自動化與機器人應用     | 5   | 6 月<br>26、27 日     | 16   |
| 5.資訊與運算科技       | 7   | 6 月 25、<br>26、27 日 | 21   |
| 6.感測            | 4   | 6 月<br>26、27 日     | 14   |
| 7.行動與穿戴式運算      | 3   | 6 月<br>26、27 日     | 11   |
| 8.生命週期評估與永續基礎建設 | 3   | 6 月<br>26、27 日     | 10   |
| 9.設計            | 5   | 6 月 25、<br>26、27 日 | 15   |
| 10.尖端科技         | 6   | 6 月 25、<br>26、27 日 | 17   |



#### 四、參訪美國營建產業研究所(CII, Constriction Industry Institute)

因為向東經過國際換日線及夜間轉機的關係，等於提早了一天的六月二十三日清晨就抵達奧斯丁，於是接機的廖博士建議可先至美國營建產業研究所(CII, Constriction Industry Institute)參訪。廖彬超博士是台灣大學土木系碩士畢業，來德州奧斯丁攻讀營建管理博士學位，畢業一年就在此地營建產業研究所(CII, Constriction Industry Institute)工作(撰寫報告期間得知，廖博士即將赴北京清華大學任教職)，經由台灣科技大學營建系鄭明淵教授特別推薦一定要拜訪，並介紹與廖博士聯繫，本次同行參訪的還有國立元智大學工業工程與管理系教授任恆毅教授，及畢業於德州大學奧斯丁土木建築及環境工程系大地組即將返國任教的楊國鑫博士。



理系教授任恆毅教授，及畢業於德州大學奧斯丁土木建築及環境工程系大地組即將返國任教的楊國鑫博士。

圖 3 於 CII 門廳看板前合照

美國營建產業研究所(以下簡稱 CII)，純由美國營建業者出資成立的一個產業研究單位，最大資金來源是石油領域的營建業者，因為大部分業者總部位於德州，所以據說因此 CII 總部就設於德州，又因為德州大學最大校區位於首府奧斯丁，其中土木建築環境工程系受惠於此地緣的合作關係，營建管理學程評比因此領先全美。

CII 成立於 1983 年迄今已 25 年，致力於最佳營建實務與實例的導入與學習，其核心機制主要就知識管理理念產生的知識庫，以及業界學習及導入的績效評估機制；此二大機制不斷的循環應用、評估，建立起業主的信心，從而更要求其營建會員的員工們積極的學習與導入。而因學習與導入，CII 每年於美國各地針對實際操作的營建從業人員辦理三次全國大型的研習會，同時舉行其董事會，針對營建業者

的需求與研究計畫進行討論與確認。CII 每年的研究課題(約三年為一期的計畫)均甚為務實，且為營建業者確實需要的研究或發展課題。

目前員工約有三十餘人，組織之上有董事會及顧問，下分行政、財務、資訊、知識管理、標竿學習(Benchmarking)、學術、編輯、應用、服務、研究等部門，人員主要配置在知識管理及標竿學習兩大部門中。

CII 知識庫主要是以實務案例方式儲存，配有專屬資訊人員進行專案的分類、編碼、儲存等工作，當然此一知識庫只對 CII 會員開放，而收費方式也依服務深入程度分級。

輔導營建業者導入最佳實務與標竿學習的方式，有著一套從最佳實務導入、成果評量、與競爭者比較、機會辨識、建議與找尋應用工具、訓練等完整的流程；最佳實務也依土木結構、管線、設備、電力、被覆等等工程領域，尋找建立儲存，然後對其進行成本、進度、品質、安全衛生(環保)、衝擊影響進行詳細表格式的分析。

其導入成效的分析與追蹤也有一套嚴謹的流程及填表操作程序，不僅如此並做到後續成效的追蹤調查，最後並以年度各業者導入的成效比較圖表，送交業者的管理階層參考。當然會員網站中，也可看到不具名的成效評比。這代表著，此一機制確實發揮成本效益數字的具體呈現，成果足以說服業主管理階層繳交會費、服務費，並且繼續出資維持 CII 組織的營運與研究計畫。

參訪本研究所的最大感想，一方面除了覺得美國營建市場規模，及石油開採設施之營建市場特別領域，為支撐相關研究及應用的關鍵因素外；相關知識管理、最佳實務、標竿學習等管理理論得以確實轉化導入營建領域，從此一法人單位確實看到值得參考的營運模式。(美國營建產業研究所網站首頁 <https://www.construction-institute.org/scriptcontent/index.cfm>)

## 五、參訪美國德州大學奧斯丁校區土木建築及環境工程系及實驗室

本次研討會於德州大學奧斯丁校區舉辦，即知該校土木營建領域，為美國此一領域的翹楚，頗負盛名。行前即透過畢業於該校的台科大營建系鄭明淵教授連繫該校台灣留學生，大地組楊國鑫博士熱心導覽及接送，參觀了該校土木建築及環境工程系館、實驗室，及位於奧斯丁郊區的結構實驗室。(美國德州大學奧斯丁校區土木建築及環境工程系 <http://www.caee.utexas.edu>)

適逢暑假，絕大部分教授都已離開學校去度假或到各地去參加各式研討會，只有營建管理組教授留下來協助本次營建自動化與機器人研討會的事務及發表論文。

惟系館中圖書館、研究室仍處處可看到研究生用功的情形；因為只聯繫到大地，及結構實驗室，該拜訪時段有人員在，因此只參觀到此二實驗室。

大地實驗室於主校區之系館內，據研究生介紹除了開發新的土壤鑽探分析技術、開發地工織物層間結合土壤能力的檢測技術，還有新增小型離心機的應用等，如下附圖照片。

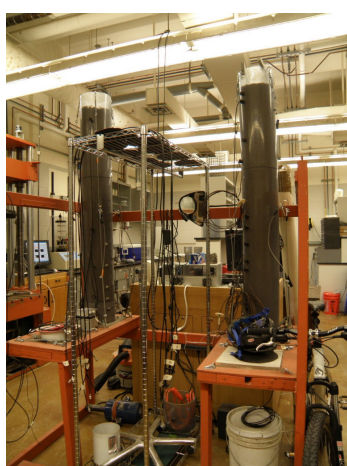


圖 4 開發新的土壤分析技術

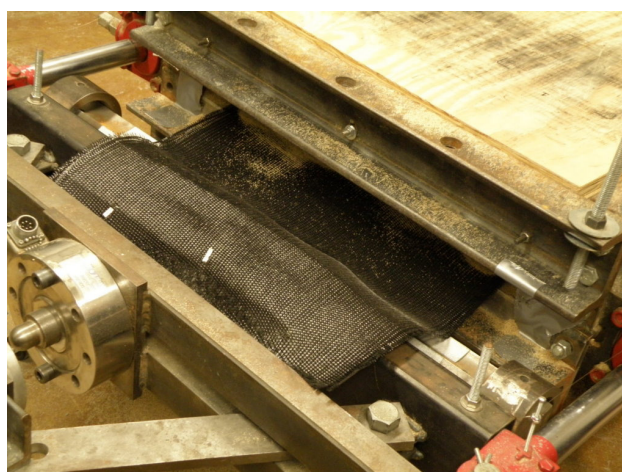


圖 5 開發地工織物層間結合檢測技術

結構實驗室位於奧斯丁北邊市郊 Pickle Research Campus (PRC)校區，實驗室名為 Ferguson Laboratory，主要擁有強力地板、反力牆、

天車及制動器等大型土木建築結構實驗設備，實驗室內各式試驗設備、構件及試體充塞擁擠，顯得實驗業務相當繁忙，如下附圖照片。



圖 6 箱型樑鋼筋腐蝕檢測實驗



圖 7 鋼桁架結構實驗



圖 8 橋樑單元長期曝曬、載重實驗

設計、操作，及實驗數據之擷取分析，大概都是由博士生負責(據瞭解是將指導教授要求的實驗及報告完成後就可以畢業了)。(實驗室網站 <http://fsel.engr.utexas.edu/facilities/>)

目前進行之大型實驗大部分為混凝土結構實驗，主要是與政府部門合作，尤其是德州交通局進行相關道路橋樑實尺寸大跨距之混凝土、鋼構實體結構、材料之檢測試驗，而桁架式結構現場只看到一項實驗。相關實驗方法



## 參、心 得

1. 本次研討會主題之一，有關機器人的應用，是社會科技改變創造新機會，自動化讓非製造業實現工業化生產。強調在人口變遷的社會上，機器人的使用不僅改善施工，而且還提供較佳的生活環境。最後，在極嚴峻的環境情況下，獨立系統與自動化可降低對生態造成衝擊。
2. 「自動化資料擷取與監控」主題中有一場「RFID 協助建築構件生命週期管理之建築資訊系統資料應用」，洽與本所執行無頻辨識 RFID 在建築產業應用研究科技計畫項下有一「無線射頻辨識(RFID)於建築生命週期之應用」計畫案相似程度極高；同樣都是提出以 RFID 標籤永久貼附於機具構件，提供建築生命週期中不同過程的應用，與本所推動國內進行 RFID 在建築產業應用，不論技術開發與系統整合，不謀而合；惟不如韓國發展營建業 RFID 應用標準化的企圖心。
3. 本次研討會可觀察到雖然資訊擷取應用、自動化、RFID 等等應用論文篇數不少，但其中很多均已趨向系統化架構方式，搭配標準 BIM 資料庫進行資料儲存/擷取設計，相對來說，國內建築資訊系統(BIM)整體的應用發展尚有很大的發展空間，並應急起直追。
4. 本次發表論有國內教授前往發表的營造業技術創新的理論。以往由於缺乏系統化創新，相對於其它產業，像 ICT 與生物科技業，營造技術的進步就較為緩慢。此文提出一種營建技術系統化創新(STIP)法，應用先進產業整合數種技術，包含專利地圖、根本原因分析、TRIZ、功能塑模、簡化設計等，於選擇路面坑洞維修技術個案進行研究，示範營造技術的 STIP 應用。未來應可提創於先期研究課題之先期探討評估，以確保創新技術發展之可行。
5. 參訪美國營建產業研究所 CII，最大的心得與收穫為吸取輔導營建業者導入最佳實務與標竿學習的方式，應有一套從最佳實務導入、成果評量、與競爭者比較、機會辨識的機制與流程；另外應積極開拓具有國際營建市場規模及利基切入應用的領域。

## 肆、附錄

- 一、營建轉折點
- 二、應用熱影像於地下水道幹管裂縫之偵測與定位
- 三、RFID 協助建築構件生命週期管理之建築資訊系統資料應用
- 四、營建技術系統化創新之發展與應用
- 五、營建自動化機器作業用輕型 3D 雷射雷達
- 六、預鑄與模組營造產業之自動化
- 七、運用閃爍式雷射雷達 3D 資料於自動化營造設備操作之快速 3D 物件塑模
- 八、以小波分析開發牆面瓷磚剝落之自動化檢查機器人與診斷方法
- 九、營造位置計算之資料整合模型
- 十、服務導向的下一代智慧型營建供應鏈管理整合資訊架構
- 十一、建築內部自動化建築資訊模型系統以改善建築資訊系統導向的數量抓取效率
- 十二、建築物運用無線感測網路的性能指標評估

## 附錄一

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－專題

### 營建轉折點

Prof. Dr.- Ing./Univ. Tokyo Thomas Bock

Technical University Munich, Chair for Building Realization and Informatics, Faculty of Architecture

#### 摘要

社會科技改變創造新機會，自動化讓非製造業實現工業化生產。在人口變遷的社會上，機器人的使用不僅改善施工，而且還提供較佳的生活環境。最後，在極嚴峻的環境情況下，獨立系統與自動化可降低對生態造成衝擊。

**關鍵字：**自動化、獨立、工業化、免機具、機器人、社會科技系統

#### 1959 年：50 年前工業化轉折點？

工業化轉折點主要由工業自動化造成，在 1946 年 George Devol 取得使用磁式記錄的機器控制裝置專利。George Devol 與 Joseph Engelberger 設計第一款可程式設定的”機器手臂”，並首先採用通用自動化名稱，後來成立第一家稱為 Unimation (Universal Automation)的機器人公司。在 1959 年，Joseph Engelberger 與 George Devol 在 Unimation 公司設計機器人，其結合工業操控器技術與開發中的電腦控制技術。Unimation Inc 是第一家製造機器人的公司，並銷售給通用公司(General Motors)與奇異公司(General Electric)作為組裝操作。

2005 年 11 月 30 日在 ISR 遇到 Engelberger 時，我們討論營建自動化的可能性。在聽完我的營建機器人報告後，他跟我說：“雖然我無法說出營建機器人，但是我知道我會看得”。因此，營建採用自動化讓工業化營建實現。

#### 1959 年：50 年前工業化轉折點？

Konrad Wachsmann 當過傢俱學徒，並且在柏林手工藝學院與藝術學院就讀。在 1920 年代末期，他擔任位在 Niesky 的 Christoph 與 Unmack 木屋公司首席建築師，於 1941 年移民到美國，並直到 1948 年與建築師 Walter Gropius 合夥成立 General Panel 公司，生產預製建築構件。

General Panel 公司的系統原理就跟工業用生產系統相同，像奇異公司、通用公司與 JEEP 公司(源自通用車輛)。在 1950 年，他被聘任為芝加哥伊利諾理工學院設計所教授兼先進建築研究系主任，並撰寫有名的著作建築轉折點(1959 年；1961 年翻譯成英文)。在 1964 年，他獲聘於洛杉磯南加州大學(USC)，擔任建築研究處長與建築研究所長。

#### 1969 年：40 年前營建自動化轉折點？

Konrad Wachsmann 於洛杉磯南加州大學(USC)進行的研究計畫名稱為

Weyerhaeuser 贊助之位置操控器(LOM)計畫，為期 1969 年到 1971 年。在他發表有名的著作”建築轉折點” 10 年後，對”時空運動”進行研究，在 1989 年 10 月，與 Wachsmann 於 1966 年到 1970 年共事的 Fritz Haller，在 Karlsruhe 大學交給我一份 LOM 錄影帶，並向我說：”You go on with it!”。跟 10 年前 UNIMATE 公司生產的機器人之三到四個自由度相比，LOM 具有七個自由度。

七個自由度由三個正交直移自由度、三個尤拉(Euler)角自由度與一個極轉自由度組成，至今 Mitsubishi Heavy Ind.(三菱重工)、Yasukawa/Motoman、DLR、KUKA、Schunck 等公司才引用七個自由度的工業用機器人。

即使在不佳的環境下，七個自由度的運動備援也能讓人體手臂進行許多應用操控。

### **1979 年：30 年前營建自動化轉折點？**

大約 30 年前，有好幾組日本研發團隊開始對營建自動化的可能應用進行研究，並且製造測試超過 100 台的雛型機器人。在 1984 年到 1989 年期間，我在日本分析大約 50 台機器人，並對營建用機器人的設計提出見解，便於日後營建自動化採用。

營建自動化之動機在於缺乏技巧熟練的工人、作業環境危險、外勞工資昂貴、意外發生與死亡率高、施工品質差、施工時間過長與成本過高、大眾對建築業有負面的形象。

經過 10 年的營建自動化研發與採用後，營建業獲得正面的形象，因而降低社會福利成本，讓人想要以機器來建造建築物。

### **1989 年：20 年前建造與解體自動化轉折點？**

三年前，”德意志博物館”的 Paetzold 博士要我看 Konrad Zuse 製作的奇怪裝置。在看完後，我認為此裝置屬於營建自動化系統。在 1989 年，德國電腦先驅 Konrad Zuse 建造”螺旋塔”，本身自動上下建造。在 1989 年到 1992 年期間，先對尺度模型進行瞭解，因此有兩種版本，在慕尼黑的德國科學博物館看見。就我來說，Konrad Zuse 想要將任何建築結構自動建造與解體。

在我瞭解他的土木工程師背景後，我認為他將 1935 年 Henschel 飛機公司輕鋁建造知識與 1936 年製作電腦知識結合，尤其是最新型螺旋塔 Z1 - 結合含有控制器、程式化控制器與儲存裝置的電腦、鋁質組件、旋轉零件盒、圓柱型螺旋升降裝置。

螺旋塔係屬營建自動化系統，跟 1990 年代的 Kajima's Amurad 營建自動化系統與 2008 年的”Daruma otoshi”解體(拆解回收)系統類似。雖然螺旋塔本身無法組裝，但可自動拆解。

### **1999 年：環境自動化轉折點？**

由於生活品質的提升，因此現代人類平均壽命也跟著增加，這種變化對相關生活空間機能帶來新的挑戰。現在的人口出生率並沒有跟上人口老化的速度，導致長期缺乏金融供給與適當人力，這種人口變化需要新的社會科技的解決方案。

老年人對住在熟悉環境有著堅定的觀念，生活輔助產業技術遠比建築技術還要進步，形成有效和諧的生活環境。對於包含早期不動產的長期需



要相當重要，以減少後期費用與可能機能的喪失。

科學家、工程師、社會學家、建築師、自動化專家、ICT、機電與微電子領域人員、檢修科學家、醫療、心理與社工人員均必須跨領域合作，以開發可接受的自動化環境。

### **2009 年：都市自動化轉折點**

由於上述的主要工業化國家人口變化，環境自動化的開發進一步透過機器車與人機車通訊而進入都市環境。感測器網路支援智慧型機器人，以服務人類日常生活環境。感測器網路係以機器城計畫架構開發，其目標讓機器人能夠以不同系統、分散式感測器與 RFID 標籤方式，追蹤人類日常生活以執行不同任務，因而形成資訊環境。

### **2019 年：太空自動化轉折點**

對地球上所使用的方法在太空進行規劃與營造提出疑問，因此學習太空建築就要以封閉系統方式來思考，太空站完全獨立運作。

對於預製組件、輕巧搬運、模組化建造與修改之方法，可能給予在地球上建造的靈感。每一項工作必須詳細規劃，因為沒有人能夠快速返回地球，拿取忘記的材料或器具。在每個營造工地，需要花費許多時間進行搭架與拿取器具和材料。

在太空上進行營造相當昂貴，因此空間不得浪費。由於零重力，所以太空有三個維度可使用，而不只是地基而已。每個房間具有多功能性；客廳同時兼具工作場所、臥室與餐廳。

以此觀點來看，我們可以對地球上的房屋概念提出疑問，並且減少土地的浪費。如果我們能夠進行太空站的規劃、建造與運作，我們就能更合乎生態來營造。

### **2029 年：都市自動化轉折點**

長期太空任務需要新的供給計畫，食物、水與空氣的供應就是日後影響太空站設計的主要任務，太空站必須裝載材料與食物。由於搬運系統(火箭的裝載量大約五噸)與相關限制的關係，所以現今的太空站以高速預製與輕型模組化方式組合。

除了技術方面要解決之外，在生態方面上俄羅斯科學家考量超過 50 年(BIOS-3)，美國科學家則在亞利桑那州的沙漠建造二號生物圈，日本政府建造生物圈 J，生態過程給未來太空站建造的雛形。

由於獨立、自主與維生的建築物具有資源再生與回收功能，所以可以避免能源浪費。科技產品若變得跟生命科學產品更相似，或者我們以自行維生方式來使用有機產品，就可以想像得到太空船的長期任務。

## 附錄二

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化資料擷取與監控

### 應用熱影像於地下水道幹管裂縫之偵測與定位

Mohamed Fahmy, P. Eng., M. ASCE<sup>1</sup> and Osama Moselhi, P. Eng, F. ASCE<sup>2</sup> PhD

<sup>1</sup>candidate, Dept. of Building, Civil, and Environmental Engineering, Concordia Univ., 1455 Blvd. De Maisonneuve W, Montreal, QC, H3G1M8. Tel:(514) 848-2424/3902 Fax: (514) 848 7965, E-mail: ma\_fahmy@encs.concordia.ca

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Building, Civil, and Environmental Engineering, Concordia Univ., 1455 Blvd. De Maisonneuve W, Montreal, QC, H3G1M8. Tel:(514) 848-2424/3190 Fax: (514) 848 7965, E-mail: moselhi@encs.concordia.ca

#### 摘要

全世界的供水系統均有供水浪費的問題，漏水屬於最常見的原因，幹管漏水相關的問題正受到全世界的關注。除了對財產造成損失之外，而且還造成供水與能源浪費。在現行的情況下，漏水偵測耗時又昂貴；因此，漏水仍持續發生，並且造成上述的問題。若能有效偵測漏水並有效率改正，即可管理漏水問題。本文利用紅外線熱影像攝影機偵測與確認各地下水道幹管漏水情況來進行研究，其說明現場作業：在加拿大三大區進行超過三年的實驗，以研究影響本文所用紅外線技術適用性與限制之因素。

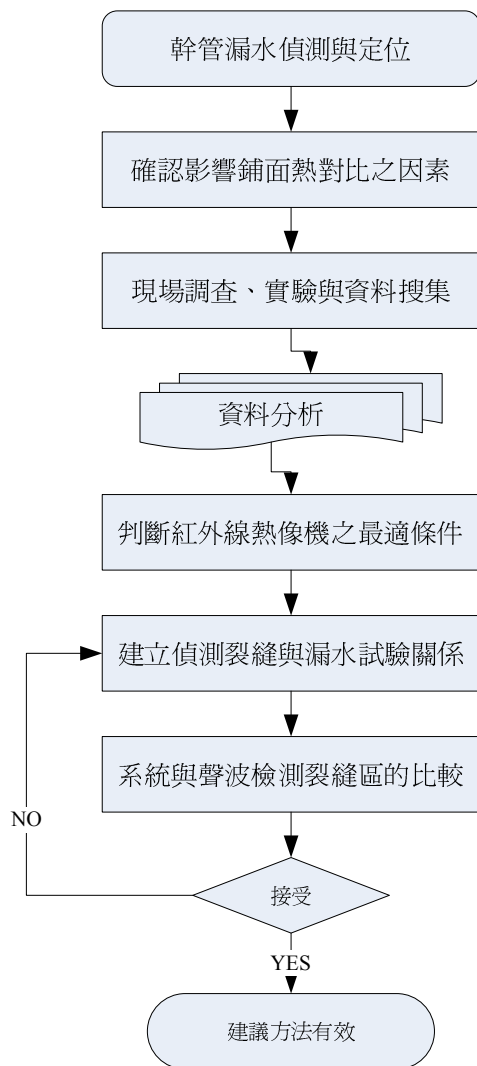
**關鍵字：**水管；紅外線熱影像法；漏水偵測；故障調查

#### 簡介

紅外線熱影像攝影機對物體所輻射的紅外線進行量測與成像，可偵測鋪面因漏水所造成的熱對比。此外，跟現有的漏水偵測方法相比，不僅能大區域快速且省錢方式有效研究，而且還跟水管類型與大小無關。再者，紅外線熱影像攝影機可用於日間或夜間，這些優點克服現有漏水偵測方法相關之限制。本文不僅說明以紅外線熱影像攝影機於地下水道幹管裂縫偵測與定位之影響因素研究，像天候、土壤和鋪面、地下水位與感測器(例如紅外線熱影像攝影機)到熱源的距離，而且還考慮在攝影機設定與車速對量測結果準確性之影響，同時給予個案範例以說明所用方法。

#### 建議方法

本文所用之方法係根據文獻資料、會議記錄與加拿大蒙特婁三大地區 Pierrefonds 區、西北區和都會區搜集的實際分析資料，使用方法包含五大步驟：I) 確認影響鋪面熱對比之因素；II) 現場調查與實驗；III) 資料分析判斷以紅外線熱影像攝影機於地下水道幹管裂縫偵測與定位之最適當條件；IV) 建立偵測鋪面裂縫區與測試漏水位置之關係；V) 比較建議系統與聲波法偵測的裂縫區之方法，圖一顯示所建議方法。



圖一 建議檢測方法

### 紅外線熱影像攝影機系統

ThermaCAM S 60 紅外線監控系統用於進行一連串的現場實驗，系統包含內建 240 組鏡片的紅外線攝影機、可見光彩色攝影機、雷射指示器與紅外線通訊線(FLIR SYSTEMS 2004)。此系統提供即時高解析度的紅外線與可見光模式彩色影像，可見光模式用來檢查鋪面上是否有任何異物，可能會影響熱對比。為了提供鋪面因地下水道幹管漏水而造成熱變化的資料，將影像擷取與儲存在快閃記憶卡上，擷取的影像有編號便於現場分析，以判斷大約漏水的位置。影像顯示在自然狀態下鋪面低溫區(暗區)(沒有漏水)與亮

區(有漏水)之間的熱對比。

### I 影響鋪面熱對比之因素

根據文獻資料、會議記錄與初步現場調查，下列影響鋪面熱對比的兩大因素變得相當明顯。

#### 1. 鋪面熱平衡

在鋪面上，有四種熱傳導模式要考慮：鋪面傳導、對流、陽光吸收與周圍黑體輻射(ASHRAE 1981; Hutcheon and Handegord 1983, Bentz 2000m Schlangen 2000)。對於鋪面的輻射傳導，有兩大因素要考慮，第一為吸收陽光的輻射，第二為鋪面往天空的輻射(McCullough 等人 1999, Locmans 等人 2003)。

#### 2. 土壤濕熱傳導

土壤濕熱變化屬於一種能源與質量轉換之過程，受到溫度場、壓力場與速度分佈之影響(Liu 等人 2005)，土壤未飽和區的熱傳導等於熱傳導通量加上熱對流通量的和(Sung 等人 2002)。

### II 現場調查與實驗

使用紅外線熱影像攝影機進行現場調查，所得之結果與參考”漏水探測器”聲波系統的結果比較，其中漏水探測器係利用加壓水管所產生的聲波或震動來進行偵測(Hundaiddi 等人 2004)。

初步現場實驗顯示，因土壤溫度特性而造成鋪面的濕度影響鋪面溫度。此外，又發現紅外線攝影機所偵測的熱對比跟聲波漏水探測器偵測的準確位置接近。在完成初步調查後，進行詳細現場調查與實驗，以判斷地下水道幹管的熱性能，並且建立偵測漏水區與準確漏水位置之間的關係。

為了達到這些目標，使用紅外線攝影機對 42 根水管進行掃描，這些水

管有 150mm 到 20mm 的管徑，管長 48m 到 300m。現場測試在加拿大蒙特婁都會區、西北區和 Pierrefonds 區進行，本研究從 2005 年 7 月到 2007 年 8 月為期 24 個月，並且現場作業時間選擇以充分的陽光與適當的周圍溫度來代表，在晴朗天空變成多雲時進行檢驗，便於有效測試天空與鋪面之間的能源轉換。注意，使用紅外線攝影機與熱電耦裝置進行量測溫度比較，平均量測溫度差為(±2°C)。

爲了取得明顯的影像色對比，紅外線攝影機依試驗次數來進行調整，鋪面到攝影機的距離從 1.20m 到 12.0m。搭配不同的車速與時間間隔進行影像擷取，車速從 5 km/h 到 20 km/h，擷取每個影像速率從 2 秒到 10 秒。

### III 資料分析

圖二 顯示秋天水管溫度、周圍平均溫度與鋪面平均溫度之間的關係。如圖 2 所示，根據方程式(1) (ASHRAE 1981; Hutcheon and Handegord 1983; Bentz 2000)，水管溫度較高表示可能使用紅外線攝影機來偵測漏水的機率較高

$$Q_{cond}=K_{cond}*(T_p-T_s)/L \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

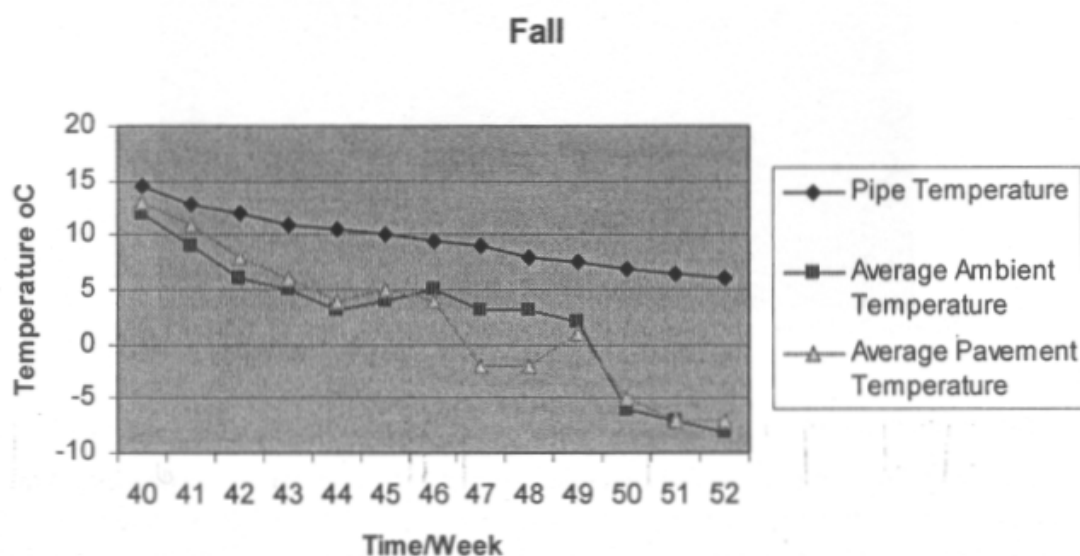
其中  $K_{cond}$  爲土壤與鋪面的平均熱傳導率，單位爲(w/m.K)， $T_p$  與  $T_s$  分別爲水管溫度與鋪面溫度， $L$  爲水流路徑長(例如埋藏深度)。

### 烏雲密佈與晴朗陽光

本研究搜集到的資料顯示，鋪面在晴朗陽光與/或早晨比烏雲密佈與/或夜間有較高的溫度。因此，在晚上 11 點到早上 6 點之間偵測漏水較準確。

### 土壤與鋪面溫度特性變化

接近漏水區的土壤有較高的濕度並變得飽和，這些濕度變化也會改變土壤溫度特性，相對於乾土壤更容易導熱。本文在四季觀察的土壤溫度變化顯示，表土溫度比深土溫度變化還要大。在冬天，深土平均溫度比表土平均溫度還要高，這表示在冬天溫度從深土傳導到表土，在夏天則相反，這樣與最近 Antonopoulos(2006)研究結果相同。此外，在冬天期間，因熱散率低與雪反照率高而造成覆雪土壤溫度的變化率較低，發現有鋪面熱對比的地區隨著日間土壤表面蒸發而減



圖二 秋天鋪面、管路溫度比較圖

少，在夜間則稍微增加。

### 滲透到鄰近排水管

本文所進行的現場研究與實驗發現，有超過 40%漏水會滲透到鄰近排水管，讓水氣無法到達鋪面，此類型的漏水無法被紅外線攝影機偵測到。

### 地下水位

地下水位對紅外線攝影機的使用有極大的影響；蒙特婁聖勞倫斯湖附近進行的實驗顯示，地下水位比水管還高，擷取該區鋪面的紅外線影像並沒有顯示鋪面有溫度特性變化。

### 感測器到熱源之間的距離

對鋪面到紅外線攝影機的距離影響進行研究，測試距離從 1.20m 到 12.0m，實驗顯示感測器(紅外線攝影機)到鋪面的距離越遠則熱對比越大，反之亦然。因此，距離鋪面 12.0m 有較大的漏水區差異。

### 車速與影像擷取率

對於不同車速與影像擷取進行 12 次，車速從 5 km/h 到 20 km/h，擷取每個影像速率從 2 秒到 10 秒。車速設定在 5 km/h 且每個影像擷取率設定在 2 秒時，熱對比與準確度有最佳的結果。

### 紅外線攝影機架設影響

為了取得清楚的影像色對比，根據 36 次測試來調整攝影機架設，並且發現發射率、調色類型與消除雜訊均為最有效的參數，其選用如下：

發射率根據鋪面狀態來選擇，覆雪鋪面為 0.85，乾鋪面為 0.90，濕鋪面為 0.94。選擇鐵色調有最佳的對比，色消從藍色(代表最低溫)到白色(代表最高溫)，同時啟動雜訊消除功能。

## IV 塑模

本文進行的漏水位置根據兩大步

驟：

- 1)判斷鋪面溫度變化的地區(例如漏水)
- 2)建立漏水區與埋管深度之間的關係

### 1.判斷鋪面溫度變化的地區

使用紅外線攝影機測試 25 根水管，推導出方程式(2)，並用來找到漏水位置。使用者必須到該位置，以判斷該區的熱對比。

$$X = \frac{(N - 1) \times 0.28S}{R} \quad (2)$$

其中：

X：漏水位置離原點的距離(m)

N：影像數

S：平均車速(km/h)

R：擷取紅外線影像的速率(影像/秒)

### 2. 建立漏水區與埋管深度之間的關係

在現場觀察知道，鋪面漏水造成的熱對比大約以錐底表示，錐頂代表測試水管漏水的位置。

#### V 建議方法

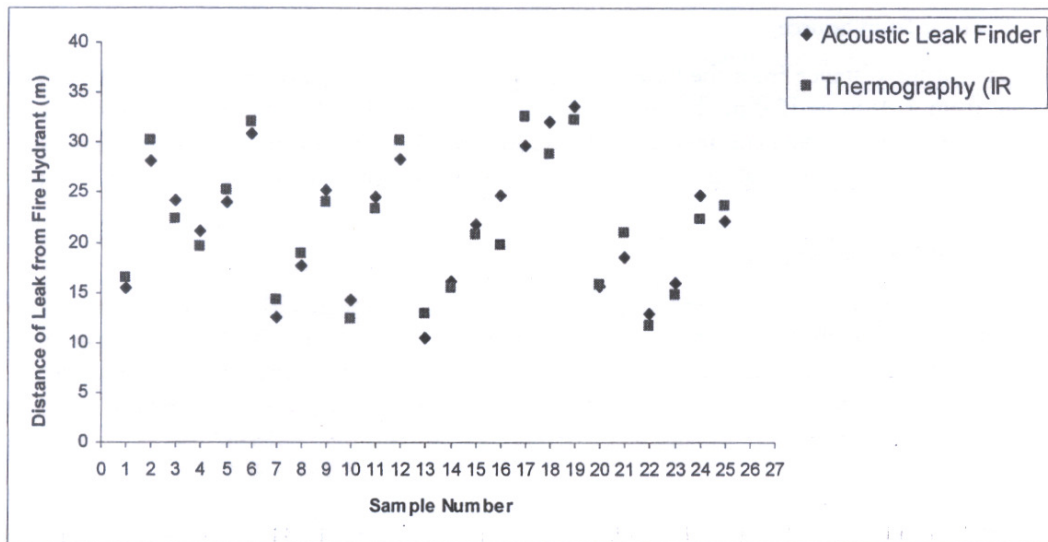
利用紅外線攝影機與聲波探測器偵測 25 個漏水處比較，如圖三所示為 1.01m 到 2.30m 的差異結果。

### 個案範例

在此範例中，我們考慮一段管徑 6 英吋且管長 48.7m 的幹管區(即兩個消防栓之間的距離)，其位於都市住宅區下方 1.80m。市政府不僅要求使用熱影像法(紅外線攝影機)對水管進行評估，而且還要利用聲波探測器來確認結果，檢驗小組駕駛以車速 6 km/h 與擷取速率每秒一張影像的車輛來進行。

使用上述的方法時，使用者發現

- 1) 六號影像顯示如圖四所示的熱變化
- 2) 使用者移動到六號影像的位置，並且進行深入調查。



圖三聲波探測器與紅外線攝影機偵測之漏水位置

利用方程式(2)

$$X = (N-1) \times 0.28 \quad S/R = (6-1) \times 0.28 \times 6/0.50 = 16.80\text{m}$$

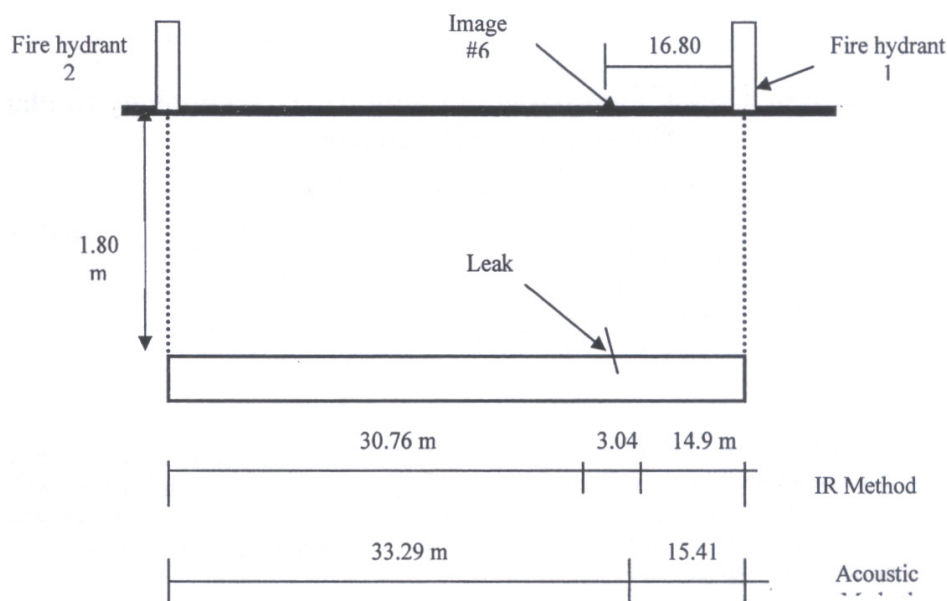
所得的結果如圖 4 所示。

### 結論

本文係使用紅外線熱影像攝影機偵測與定位幹管漏水區進行研究，其包含現場調查、測試與塑模開發。在蒙特婁三大區的幹管進行現場調查，紅外線熱影像攝影機在春秋季以鋪面熱對比成功偵測漏水區，但在夏冬季分別因鋪面溫度過高與覆雪而無法偵

測漏水區。漏水造成的熱對比幾乎有著錐底的形狀，錐頂代表漏水位置。不過，在排水管附近使用紅外線熱影像攝影機並不可靠，紅外線熱影像攝影機的最佳使用時間在早上 6 點到早上 8 點，紅外線熱影像攝影機並與聲波探測器的偵測方法進行比較，個案範例證實開發的方法使用與準確性。

本文為加拿大自然科學與工程研究委員會與 Concordia 大學工程暨電腦科學系經費所贊助進行研究。



圖四 檢測範例

## 附錄三

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化資料擷取與監控

### RFID 協助建築構件生命週期管理之建築資訊系統資料應用

Mohamed Fahmy, P. Eng., M. ASCE<sup>1</sup> and Osama Moselhi, P. Eng, F. ASCE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Assistant, Concordia Institute of Information Systems Engineering, Concordia University, 1455 De Maisonneuve, Montreal, QC, Canada H3G 1M8; PH (514) 848-2424, ext. 7041; FAX: (514) 848-3171; e-mail: a\_mot@ciise.concordia.ca

<sup>2</sup>Associate Professor, Concordia Institute of Information Systems Engineering, Concordia University, 1455 De Maisonneuve, Montreal, QC, Canada H3G 1M8; PH (514) 848-2424, ext. 5800; FAX: (514) 848-3171; e-mail: hammad@ciise.concordia.ca

#### 摘要

AECOO 產業具有高度分散性；因此，不同使用者之間的有效資訊共享與交換顯然需要。此外，機具構件的資訊應透過生命週期來管理，而且便於 AECOO 產業使用者存取。在所有專業人員的生命週期方面，BIM 正以一種資訊創造、分享、交換與管理的方法出現。在另一方面，射頻辨識(RFID)以自動資料收集與資訊儲存技術出現，並且用於 AECOO 的不同應用。本文提出將 RFID 標籤永久貼附於機具構件，其中標籤記憶體記錄有標準 BIM 資料庫提供的構件生命週期資料，此資料透過生命週期用來加強不同過程，概念式 RFID 系統架構搭配資料儲存/擷取設計。要探討所提出方法的技術可行性，對兩組個案來實施與測試。

**關鍵字：**RFID；生命週期管理；BIM；營建自動化

#### 介紹

射頻辨識(RFID)是一種以射頻方式來擷取並傳送資料的自動辨識技術，可當作辨識與追蹤物品的電子標籤和資料收集系統。RFID 系統已經用於營建與維護方面，像構件追蹤與定位、庫存管理、設備監控、製程管理、機具與維護管理、器具追蹤與品質控制(Motamedi and Hammad, 2009)。不過，上述的各種應用只針對特定階段的機具生命週期設計，以分散方式滿足其中一種專業人員的需要，即建築師、工程師、營建商、業主與操作員(AECOO)。這樣在不同階段增除標籤會增加成本與人工，同時讓專業人員彼

此無法資源共享，因而造成資源浪費。

本文提出將 RFID 標籤永久貼附於製造階段的構件，作為構件整合的一部份。構件永久貼附有標籤後，標籤裡的構件生命週期資料可依次更新，這樣有助於所有專業人員從採購與供應鏈管理到維護與處理均能瞭解。

航空業已在生命週期管理上提出使用 RFID 標籤，作為特殊航空零件編號與重要生命週期資料的儲存，以加強檢驗與修理過程(Harrison 等人 2006)。Ergen 等人(2007)提出在工程(ETO)構件上使用 RFID 標籤，並且透過分析工程供應鏈的構件相關資料以探討這類系統技術可行性。他們強



調，跨單位間的資訊系統之資料整合是一項需要研究的議題。

本文主要在於提供管理構件生命週期資料之技術，以及延伸 RFID 標籤貼附於營建機具的其它工程構件(即訂製構件與現有構件)之想法。對於建築構件與建築物內所用的 RFID 標籤，我們還提出包含更廣泛的資料類型。在所提出的方法中，標籤裡的資料代表許多建築資料模型(BIM)，作為分散式資料庫。根據貼附標籤裡的資料，BIM 與 RFID 資料之間的關係就能夠重新建立(或部份)BIM 資料。此外，所提出的方法進一步分成兩種高樓建築物的個案來探討，將 RFID 標籤貼附於所選用的構件，作為改善供應鏈管理、物品定位、安裝與維護以及進度管理和表示。

### **相關研究回顧 射頻辨識**

RFID 標籤係屬一種儲存某些資料之記憶裝置，這些資料可透過無線方式來讀取，同時還能提供處理大量資料的能力。基本 RFID 系統由三大元件組成：天線、發收器(含解碼器)與程式控制資料的轉換器(射頻標籤)。天線整合發收器與解碼器封裝而成為讀取機，可設定為手持式裝置或固定式裝置。RFID 標籤在許多方面上有不同，像功率源、頻率、資料讀取率、資料儲存量、記憶體類型、大小、使用壽命與費用(aimglobal.com, 2008)。

即使 RFID 技術在製造、零售、運輸業上有許多應用，但在 AECOO 產業的潛在應用只是剛開始，RFID 的主要用途在於供應鏈與專案建材、構件、作業人員和設備管理追蹤。不過，有些研究人員提出使用 RFID 作為檢驗和

維護時之進度監控、表示、品質控制與構件追蹤。

### **建築資訊模型**

AECOO 產業具有高度分散性，此情況對不同使用者之間的溝通造成障礙，因而對效率與性能有重大影響。因此，對於 AECOO 產業所用的軟體應用程式之間，就需要建立標準資料轉換模型。藉由全部建築生命週期資料的有效管理、分享與交換開發 BIM，以解決互聯與資訊整合相關問題。BIM 具有可擴充性與開放性，讓 BIM 資料不僅可儲存成數位檔案或存入資料庫，而且數種應用程式之間還可進行分享與交換(Isikdag 等人 2007)。

工業標準等級(IFC)已成為標準 BIM，IFC 係屬物件式非專用建築資料模型與資料交換格式，讓 IFC 模型便於交換標準開發。隸屬國家建築科技學院(NIBS)的機具資訊委員會成立 NBIMS 小組，依 IFC 模型的資料交換加速開放標準 BIM 之採用(East and Brodt, 2007)。

營造合約規定提交不同文件，IFC-mBomb 專案在設計與營造時提供資料擷取方法和機具供應商資料(Stephens 等人 2005)。營造建築資料交換(COBIE)專案受到 NBIMS 資助，以確認達到機具管理者與供應商對機具生命週期資料交換之目標(East and Brodt, 2007)。

COBIE 搭配 BIM 作業時，可使用空白表格程式來建立與交換 COBIE 資料。

### **提議方法**

建築物的生命週期可分為不同階段，對各階段分別進行管理，並在各階段交換部份資料，對各構件相關的



生命週期資料能夠個別追蹤。

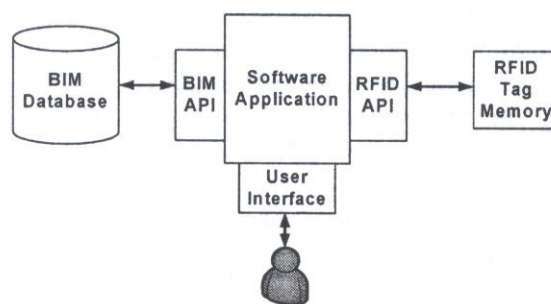
此外，資料格式方便使用並儲存於適當的地方，讓所有使用者能夠有效存取。對於能夠透過電腦網路進行存取的集中式資料，則是一種資料存取的解決方案。然而，資料能夠即時存取相當困難，因為無法提供可靠的中央資料儲存連線。

本文提出將 BIM 資料庫裡的結構資料存入貼附於構件的 RFID 標籤，不論有無與中央資料庫即時連線或所需資料有進行備份，任何人均可存取標籤裡的構件資料。

### 系統互動設計

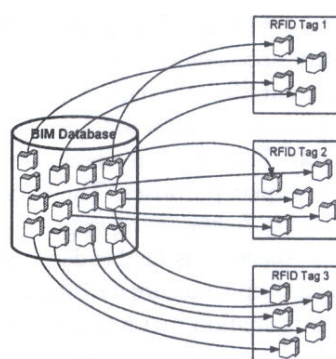
在所提出的方法中，每個構件均可能成為標籤標的。在建築物裡，構件上貼有許多標準標籤。儘管所有構件近來還不太可能貼附標籤，但為了有助於多數物品辨識與貼上標籤之概念，貼有標籤的構件能夠依專案規模、構件種類與價格、特定過程、機具業主所需的自動化和管理等級來選擇。

系統設計適用於所有構件，包含資料結構模型與資料擷取法。標的構件在製造前後貼有標籤，並在幾處進行掃描，對儲存的資料進行讀取，或依系統需求與掃描階段進行資料修改，然後將掃描的資料轉成不同軟體應用程式，便於對構件進行管理。圖一顯示不同系統物件之間的互動設計，軟體應用程式利用讀取機 API 與 RFID 標籤通訊，並對中央 BIM 資料庫的生命週期資料進行儲存與擷取。RFID 資料在設計時先存入 BIM 資料庫，成為產品資料的一部份。



圖一 系統互動設計

標籤記憶體包含 BIM 資料，儘管 BIM 資料庫存有不同軟體應用程式的生命週期資料，但標籤記憶體容量隨所掃描的構件而改變與更新，圖二說明 BIM 標籤資料如何存入建築構件的標籤內。即使資料集中存入 BIM 資料



圖二 BIM 標籤資料關係

庫，但軟體應用程式只將資料庫裡所需的資料複製到標籤記憶體。

### 資料擷取法

標籤裡所儲存的結構資料可在生命週期由數套 RFID 系統來讀取、更新與變更，這些變更方式由不同類型的 RFID 讀取機(靜止式或行動式)來進行。為了確認每次掃描的讀取機類型是否適合，應擷取詳細過程要求，像讀取範圍、資料傳輸率與可攜性。此外，在考慮構件類型(即固定、活動與暫用)時，應選擇讀取機。

構件所儲存的資料可從不同距離來讀取，最大讀取距離取決於不同的

因素，像讀取機功率、天線類型與大小、頻率範圍和使用環境。

在有些應用中，希望從遠端來讀取資料。即使構件隱藏或無法看見，系統仍可偵測到。其它應用可能需要較短距離讀取，例如，標籤檢驗時，因短距離的讀取/寫入確保檢驗員在構件附近。

在建議的方法中，RFID 標籤貼附於構件上；因此，標籤設計有最大讀取/寫入範圍，並不免雜訊干擾。不過，根據程序要求，對讀取機的讀取/寫入範圍要控制。

### 資料結構

由於標籤記憶體容量有限，因此標籤內儲存的 BIM 資料必須依要求來選用。標籤內儲存的資料隨著構件生命週期而改變，而且不同軟體應用程式以不同權限使用與變更資料，標籤記憶體應以預設資料結構方式來虛擬分割。我們提出將記憶體容量虛擬分割成下列欄位：

**辨識名稱：**爲了檢查 BIM 資料庫裡的構件，每個構件需要有一個特殊的辨識名稱(ID)(例如，EPCglobal (電子產品碼)標籤資料標準)。

**規格：**此欄位專屬構件規格，其源自生命週期的設計與製造階段，安全相關資料與危險材料資料均爲規格範例。

**狀態：**狀態欄位確認構件生命週期的現行階段(例如，營運、安裝、製造與組裝。)和子階段(例如，營運：待檢。)，狀態資料用來判斷哪個軟體應用程式能夠使用與修改程序資料欄位的資料。

**程序資料：**此欄位大小比其它欄位還

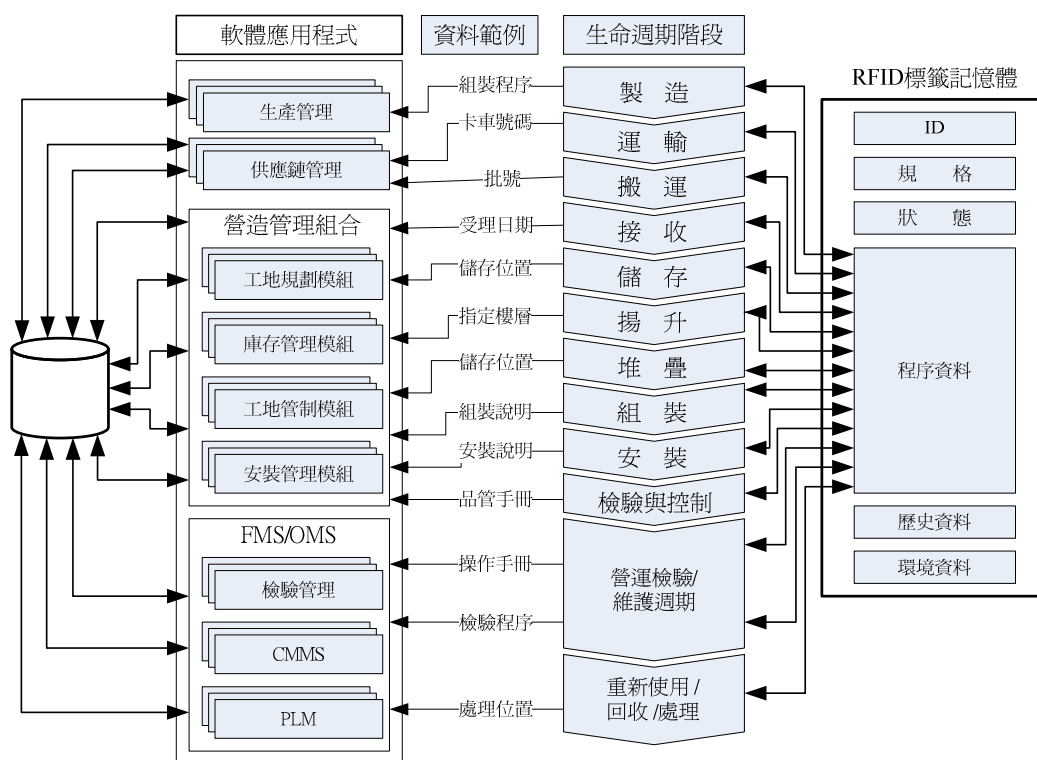
大，其設計儲存構件現行生命週期階段的資料，標籤內所儲存的現行程序資料不同，並在生命週期時進行變更。例如，組裝說明只用於組裝階段。因此，程序資料欄位只含有 BIM 資料庫裡的現行生命週期階段資料。此外，程序資料的功能(讀取、修改或變更)只對特定階段的某個或某些應用程式(即檢驗管理軟體、安裝管理軟體)限制，程序資料欄位的功能依上述的狀態欄位來決定。圖 3 說明不同軟體應用程式如何修改程序資料欄位，即使不同應用程式使用相同的記憶體，但在不同生命週期階段。圖三說明符合特定生命週期的樣品構件，其中不同軟體應用程式複製 RFID 標籤記憶體裡的 BIM 資料。

**歷史資料：**此欄位儲存生命週期的歷史資料，作爲維護與修理用。歷史資料源自 BIM 資料庫，並於後續生命週期進行更新。

**環境資料：**此欄位儲存環境資料，像位置或功能與空間規格(即樓面配置)。環境資料源自 BIM 資料庫，而且包含與構件不相關的所有資料。

### BIM 標籤資料交換法

提議方法建議不僅採用 RFID 標籤作爲儲存結構資料媒體用，而且還提供分散式 BIM 資料儲存用。根據資料收集、管理與分享所用的資料儲存媒體，資料能夠以集中式資料庫、RFID 標籤或資料管理法的書面文件方式儲存。



圖三 程序資料架構

有數個專案正針對生命週期資料管理、資料交換路徑、生命週期所用的重要資料與 AECOO 參與人員之間的提交方法進行研究，其結果可搭配我們所提出的方法使用。

### 挑戰

提議方法雖可用現有硬體來達成，由於高使用性與訂製費，至今尚未可行。挑戰可分成下列主要項目：

**使用 RFID 技術產生之挑戰：**(1)電磁波特性的射頻挑戰與材料影響；(2)缺乏完整與內部標準；(3)標籤與基礎建設費；(4)資料保密與保護；(5)標籤在營建嚴苛環境下操作；(6)資料傳輸率；(7)互聯性：涵蓋所有標籤、頻率、多重協定標籤與讀取機標準；(8)功率：低功率 RFID 系統延長生命週期；以及(9)環境：以新材料製成的標籤便於回收。

**擴充 BIM 與使用性之挑戰：**開發 BIM 標準屬早期的工作，可用的標準並不

完整。此外，使用 BIM 標準有其挑戰與困難；還有業界驗收、傳統方法變更到新 BIM 管理、可用人力資源、合法性與變更費(軟硬體、訓練與實行)之議題必須解決，讓業界使用 BIM。

**技術使用與社會挑戰：**由於需要額外費用與訓練，因此這些系統的使用受到傳統用法的公司阻礙。

**程序挑戰：**對建築生命週期的程序不僅要進行審查，而且還重新建造作為新的挑戰。

### 個案研究 1：進度管理與 4D 影像

此個案研究設計不僅便於營建專案的進度監控程序，而且還提供構件狀態追蹤之影像協助，實施個案研究的結果係以構件狀態的 4D 模型與 3D 影像，以獲得準確進度量測資料。

雛型系統由六大子系統組成：(1)儲存 BIM 資料之資料庫，可透過 RFID 讀取與其它軟體最新版(即檢驗資料)來更新；(2)以 IFCxml 格式儲存資料之

3D 塑模軟體；(3)排程軟體；(4)4D 模擬軟體；(5)FM 軟體；(6)RFID 讀取機介面。子系統之間採用標準互聯通訊協定，4D 模擬軟體從 3D 軟體取得幾何資料，以及從資料庫取得時間和狀態資料，以產生機具的即時彩色圖形，這些圖形有助於專案經理與 FM 團隊瞭解機具狀態。

在本文中，我們著重 Concordia 大學 John Molson 商學院(JMSB)新館的 HVAC 構件進度監控與生命週期管理，不同的主動式 RFID 標籤操作在超高頻(UHF)，記憶體容量有 8KB 或 32KB，標籤資料由檢驗員或維護員的手持裝置讀取機來更新。

以建築物第十四樓的 HVAC 系統 4D 圖，說明營造時之構件狀態，安裝的構件以黑色表示，吊起但尚未安裝的構件則以紅色表示，儲存但尚未吊起的構件則以灰色表示。而說明施工狀態圖，綠色構件表示待檢，深褐色構件表示需要修理。

**個案研究 2：**消防設備檢驗與維護在此個案研究中，RFID 標籤用來儲存消防設備的資料。在所有消防設備中，因重要性與維護次數高而選擇滅火器與安全閥。

在我們提出的雛型系統中，重要資料儲存在貼附於滅火器與安全閥的標籤裡，以提供檢驗員或維護員/維修員不需進入中央資料庫，即可得知滅火器與安全閥的歷史和情況資料。

在雛型系統中，使用兩種不同的標籤進行測試：有 8KB 或 32KB 記憶體容量的主動式標籤與有 96 位元記憶體容量的標準被動式標籤。對於手持式讀取機，主動式標籤屬於長距離，而被動式標籤只有數英吋的讀取距

離。

短讀取距離的標籤確保檢驗員在安全閥附近進行檢驗與維護，並將滅火器抬起移開，以便更新資料，附表說明貼附於滅火器的被動式標籤資料結構。

滅火器 RFID 標籤資料結構表

| 辨識名稱 (ID) |      | 類 型     |       |
|-----------|------|---------|-------|
|           |      | 機 型     |       |
|           |      | 序 號     |       |
| 資 料       | 規 格  | 製造日期    |       |
|           | 狀 態  | 狀 態     |       |
|           | 維護資料 | 情 況     | 阻 礙   |
|           |      |         | 高 壓   |
|           |      |         | 低 壓   |
|           |      |         | 整 體   |
|           |      |         | 鬆 脫   |
|           |      |         | 灰 塵   |
|           |      |         | 損 壞   |
|           |      | 缺 失 部 份 | 插銷遺失  |
|           |      |         | 鉚釘遺失  |
|           |      |         | 文件遺失  |
|           |      |         | 符號遺落  |
|           |      |         | 瓶頸彎曲  |
|           |      |         | 連接水管  |
|           |      |         | 密合破裂  |
|           | 環境資料 | 位 置     | 建 築 物 |
|           |      |         | 樓 層   |
|           |      |         | 房 間   |
|           | 歷史資料 | 最近檢驗日期  |       |

由於被動式標籤的記憶體有限，因此將上述資料壓縮為二進位碼並存入標籤。軟體利用對照表將構件相關的 BIM 資料編碼，並且存入標籤的記憶體。

寫入標籤的缺失部份資料有助於維護人員依先前的檢驗結果快速釐清問題並降低重工，使用者介面提供檢驗員標準檢驗說明，並且告知標籤讀

取的資料與構件類型的自訂資料對話

此外，軟體不僅提供檢驗員利用標籤來導航定位建築物裡的滅火器與氣閥，而且還預載樓層平面，作為樓層影像圖。透過研究標籤偵測的地區，感測標籤依位置資料來顯示樓層圖。

此個案研究以建造中的 Concordia 大學 EV 館來進行，其中主動式與被動式標籤均貼附於第九樓的消防氣閥與滅火器上，系統技術可行性已經在實際作業環境下進行測試。

### **結論與後續研究**

所提出的方法提供貼附 RFID 標籤構件之資料結構與後續實施方法。雖

方塊。

然個案研究證實以硬體方式來達到提出架構的技術可行性，但仍有好幾種挑戰需克服，才能達到實用與可行。

下列步驟能讓提出的方法達成：(1) 根據長期附加價值的成本分析考量，確認最適合貼附標籤的建築構件；(2) 對所選構件重新進行製作與維護；(3) 對所選構件的產品與標籤結構進行研究；(4) 將所選構件的各生命週期階段重要程序資料存入標籤；(5) 可用 RFID 硬體技術進行選擇與欄位測試以及(6) 研究將新資料加入 RFID 相關的 BIM 裡。

## 附錄四

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－管理與社會議題

### 營建技術系統化創新之發展與應用

Wen-der Yu<sup>1</sup>, Chih-Ming Wu<sup>2</sup> and Teen-wei Hunag<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor, Institute of Const. Mgmt., Chung Hua Univ., Taiwan, wenderyu@chu.edu.tw

<sup>2</sup> Ph. D. Student, Institute of Const. Mgmt., Chung Hua Univ., Taiwan, d09603004@chu.edu.tw

<sup>3</sup> Student, Dept. of CEPM, Chung Hua Univ., Taiwan, b09416044@cc.chu.edu.tw

#### 摘要

技術創新已成為營造業進步的主要驅動力。由於缺乏系統化創新，相對於其它產業，像 ICT 與生物科技業，營造技術的進步就較為緩慢。此文提出一種營建技術系統化創新 (STIP) 法，其整合數種技術与其它快速發展產業的研究產品，包含專利地圖、根本原因分析、TRIZ、功能塑模、簡化設計等。我們不僅對所提出的 STIP 重新研究，而且在個案研究上也選擇路面坑洞維修技術，並且示範營造技術的 STIP 應用。對每一步 STIP 的項目進行審查，並且透過技術階段關卡(TSG)來評估，其常用高科技製造業。最後，採用新路面坑洞維修技術的創新設計，而且還評估創新技術確保可行性。

**關鍵字：**技術創新；專利分析；TRIZ；程序模型

#### 1. 介紹

營造技術定義成”結合營造方法、營造資源、作業與專案影響”，以”達成人員生計與便利所需之目標”。Robert Harris 指出，”營造程序不只是管理，也不只是結構設計或地理技術評估，[我們需要]建立更佳的營造技術。”。技術創新對營造可能導致革命性的進步，是傳統管理技巧与其它技巧無法達到。因此，對於公司的長期競爭政策，成為重要的部份。

不過，相對於土木工程業与其它產業，像資通技術(ICT)、生物科技與奈米建材等(Nam and Tatum, 1989)，營造技術的創新就較為緩慢，其中一項關鍵且最重要的原因就是缺乏系統化快速創新方法。Daniel Halpin 在第七屆 Peurifoy 營建研究獎的演說中指出，”

我們需要共同架構--共同語言”。因此，我們提出營建技術系統化創新 (STIP)，以訴諸上述研究人員。STIP 目標在於提供一種共同架構，係依高創新產業採用的現代產品創新方法，作為營造技術的快速創新。在本文中，STIP 法適用於路面坑洞維修技術創新。

本文其它部份說明如下：第二節說明先前營造技術創新之研究；第三節提出並詳細說明快速系統化科技創新(STIP)；第四節說明 STIP 應用於路面坑洞維修技術之個案研究；最後，進行總結並對後續研究提出建議。

#### 2. 營建技術創新

營建技術創新起因於營建快速變化。例如，在 1824 年普通水泥的使用形成數千種的新營建技術與設備產

生，徹底改變營建工程方式；此外，在 20 世紀前葉，發明鋼構技術並用於營造業，因而造成營造技術的第二次革命。在 1970 年晚期，營造業受到營建不佳的影響，激勵下一世代營造創新。對於營造力(O' Connor and Miller, 1974)、預鑄、模組化(Tatum 等人 1986)與自動化(Sarah, 1997)之類的議題，許多研究人員在營造與管理過程上進行創新。

儘管付出許多努力，營造業的創新性相當緩慢。如 Halpin 所說，由於缺乏共通架構而造成影響。先前研究人員雖已探討過許多組織過程創新、技術評估與先進技術復回的方法，但只有部份成果直接跟新技術設計有關。Halpin 提出營造分析之 CYCLONE 模型，雖然許多營建模擬採用他的模型，像 COOPS 與 STROBOSCOPE，大部份的模擬功能仍受到現行過程塑模之限制，而非新技術的發明。

近來，新的營建創新領域已針對專利分析(PA)與創新問題解決理論(TRIZ)來研究，前者依其它領域的現有專利技術來創造目標技術；後者適用於系統化程序，利用 TRIZ 工具以確認工程改善特性。

由於不像現行營造創新的模擬方式，因此 PA 或 TRIZ 技術的創新性朝向不同技術方面的改善，根據 Sarah Slaughter 分類，前者屬於”增值創新”，而後者屬於”系統創新”或”基本創新”。”系統”或”基本”創新通常跟大量資訊與知識有關，需要透過電腦輔助工具來進行，這些工具搭配營建技術系統化創新，稱為 STIP，在下列章程裡說明。

### 3. 營建技術系統化創新(STIP)

STIP 法之目標在於透過整合三種現代技術來達到營建技術的快速創新：(1)產品研發與開發程序，稱為研發專案管理(R&D PM)；(2)問題解決方法，即 TRIZ；以及(3)電腦輔助創新工具，稱 Goldfire InnovatorTM。STIP 程序由八大步驟組成，其說明如下。

#### 3.1 根本原因分析(RCA)

RCA 步驟針對技術問題進行可能改善的機會分析，此步驟跟研發專案管理的機會分析階段相關，採用兩組電腦輔助創新工具來進行 RCA：Goldfire InnovatorTM 提供 RCA 模組與知識資料庫。

#### 3.2 目標技術

目標技術步驟搜尋專利資料庫，作為最後一個步驟所判斷的根本原因，此步驟跟研發專案管理之概念定義階段有關，專利資料庫與專利搜尋工具可用來確認目標技術。

#### 3.3 功能塑模

功能塑模步驟建造最後一個步驟所確認之目標技術功能模型(FM)，此步驟跟研發專案管理之概念定義階段有關，Goldfire InnovatorTM 的功能塑模模組可用來建造目標技術的功能模型。

#### 3.4 功能模型變更

功能模型變更步驟改變最後一個步驟所獲得之目標技術功能模型(FM)，TRIZ、CT、價值工程或簡化設計之原則可在此引用，此步驟跟系統分析與研發專案管理之基本設計階段有關。Goldfire InnovatorTM 的簡化設計模組或其它商用創新解決方案產生器(ISG)軟體均可用於建造目標技術之功能模型，其變更結果係為”創新替代



方式”，改善目標技術之問題。

### 3.5 替代評估

替代評估步驟評估最後一個步驟所產生的創新替代之變更功能模型，評估結果可表示成“核准”或“不核准”。如果替代評估核准通過，STIP 進行到下一步驟－方法設計；另一方面，如果技術創新替代不被核准，回到功能模型變更，以產生新的創新替代。此步驟跟研發專案管理之技術階段關卡(TSG)類似，其提供改革者產品開發品管功能。

### 3.6 方法設計

方法設計步驟產生可行的解決方案，作為創新替代之核准功能模型；也就是，建議結合資源與過程(例如，裝置、建材、設備與人力資源)以達到創新科技。此步驟跟研發專案管理之產品設計階段有關，Goldfire Innovator™ 所提供的知識庫有助於改革者產生技術解決方案。在 CAI 沒有提供時，其它方法設計之方式包含腦力激盪、集體研討與專家座談。

### 3.7 雛型建立

雛型建立步驟搭配資源與方法來達到最後一個步驟所產生的創新科技，達成方式採用實驗而非正式方式，其目標在於測試產生實用方法之可行性，可在下一個步驟中實驗或測試，此步驟跟研發專案管理之雛型建立階段有關。

### 3.8 實驗與測試

STIP 法之最後一個步驟就是實驗與測試。在此步驟中，雛型建立技術以實際環境來測試，以確認可行性與應用性。實驗設計(DOE)可被採用，以規劃測試實驗。如果實驗結果顯示雛型建立技術可能有問題，在先前步驟

(方法設計與雛型建立)裡進行變更與調整。

## 4. 個案研究

STIP 法成功用於改善產品(或裝置)科技，例如鋼筋混凝土(RC)建築物之管線漏水修補技術，但從未用於改變營造方法。在此個案研究中，有兩大目標；首先，調查 STIP 快速創新法適用性與可行性；第二，開發路面坑洞修補技術之創新設計。

### 4.1 個案研究範圍

個案研究在台灣進行，以創新柏油混凝土(AC)路面坑洞修補技術。由於時間限制，專利搜尋之範圍僅限於美國專利。

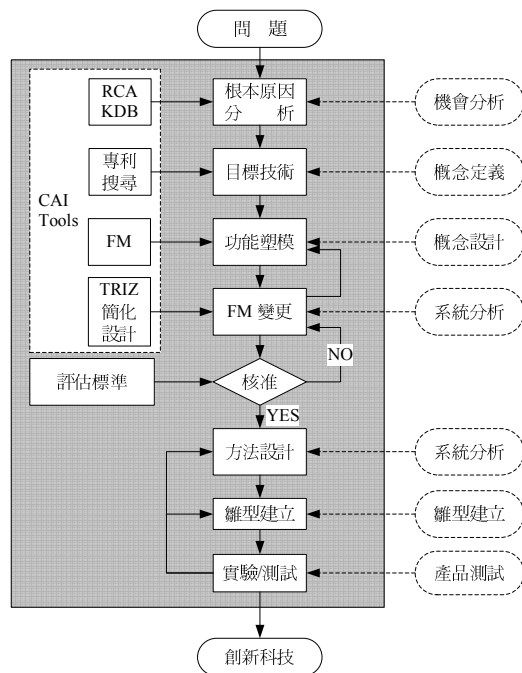
### 4.2 STIP 法之應用

#### (1) 根本原因分析(RCA)－

現行柏油混凝土(AC)路面坑洞修補技術之兩大關鍵要求就是作業區(維持路況)與時間有限，本文研究著重於後者之快速修補，透過與專家座談，確認後者實際上比前者還更加需要。

根本原因分析圖如圖二所示，其說明造成柏油混凝土路面修補時間過長之根本原因。在圖二中，造成路面修補過慢有兩大根本原因：(1)建材供應錯誤 - 造成修補時需要調整與重新鋪設，讓作業時間延長；(2)柏油混凝土強度不足 - 造成修補後還需延長時間。上述兩種原因造成修補時間過長，而且雨天潮濕情況也可能造成路面修補時間延遲。然而，根據台灣道路修補規定，在雨天不得進行鋪路作業。因此，潮濕情況並未考慮在根本原因分析內。





圖一 STIP 程序

深入研究”建材供應不正確”之原因後，可以發現建材供應錯誤就是根本原因。因此，提供”正確量測方法”就是解決”建材供應錯誤”之關鍵。同樣地，提供高強度的柏油混凝土有助於解決”建材強度不足”問題。依據根本原因分析法所確認的根本原因在下一個步驟中用於搜尋可能的科技。

## (2) 目標技術與專利搜尋

在此步驟中，搜尋專利資料庫找出最適合的技術，可當作創新的”目標技術”。首先，開發專利地圖以圖形顯示技術競爭狀態。

表 1 顯示本文所用的路面修補技術搜尋標準，以找出相關美國專利。本文引用國際專利分類碼(IPC)，在表 1 中，注意 IPC 等級：”E01C 23/00” (建築、修補、裝設、重修或路面破壞或類似機具)找到個案研究的最相關問題。

表 1 路面修補技術搜尋標準

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (((TTL/repair OR ABST/repair OR ACLM/repair OR TTL/rehabilitate OR ABST/rehabilitate OR TTL/mend OR ABST/mend OR ACLM/mend OR TTL/renew OR ABST/renew OR ACLM/renew))) OR (((ABST/pavement OR TTL/pavement OR ACLM/pavement OR TTL/way OR ABST/way OR ACLM/way OR TTL/road OR ABST/road OR ACLM/road))) AND ((ICL/E01C23/00 OR ICL/E01C23/06): 579 patents |
| E01C 23/00;建築、修補、裝設、重修或路面破壞或類似機具                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

搜尋結果用於製作專利地圖(Yu 等人 2006)，便於確認技術競爭者。分析結果顯示路面修補專利件數在過去五年逐年下降，前三大專利申請者為 Eigenmann、Wirtgen 與 CMI。

透過審查最相關的專利，選擇”US4084915: Method for reconditioning and resurfacing pavement”作為創新目標技術。由於美國商標專利局(USTPO)發行的專利文件並沒有說明目標技術的建造過程，因此需請教這方面的專家，柏油混凝土路面修補之熱混重填法被認為跟目標技術最相關，建造過程說明如下：

**建材需求：**重填建材應採用熱混柏油混凝土，最大粒徑為 13 mm。

## 營造方法：

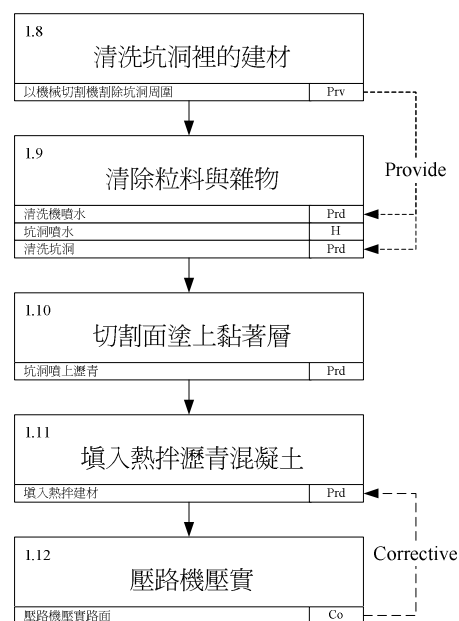
- 清洗坑洞裡的建材，並以機械切割機割除坑洞周圍，切割面應平坦。
- 清除粒料與雜物。
- 切割面塗上黏著層(可用水泥灰漿)。
- 將熱混柏油混凝土倒入坑洞，建材鋪上修補路面約 2~3 mm。
- 以壓路機壓實修補路面。
- 等到建材乾燥有足夠的強度。

## (3) 功能塑模

將目標技術轉換成功能模型，作為進一步分析。由於目標技術跟程序法較有關而非設備或裝置，因此 Goldefire InnovatorTM 提供的過程模型(PM)用於目標技術之功能塑模與代表。圖二顯示目標技術過程模型，係依最後一個步驟所說明的營造法，請

注意 Provide Link (Prv)表示所進行的過程修正(變更)第四個步驟的作業結果，作為後續的過程用。

在圖二中，第一個步驟(清洗坑洞裡的建材)提供第二個與第三個步驟的作業空間；最後一個步驟(壓路機壓實)修正第四個步驟的作業結果(填入熱拌瀝青混凝土)。

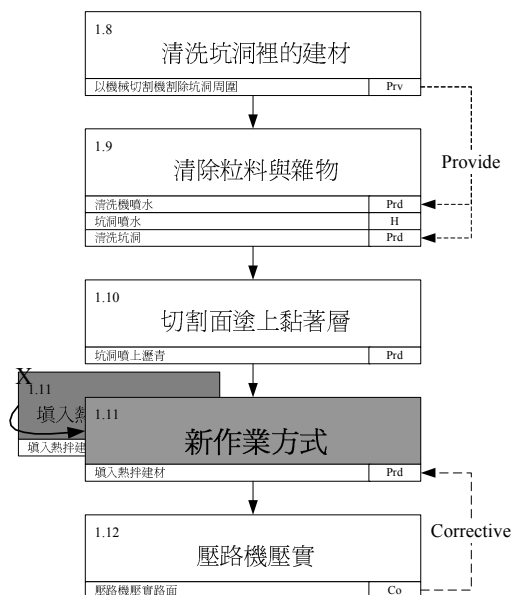


圖二 目標技術之過程模型

#### (4) 功能模型變更

根本原因分析確認”建材供應錯誤”的根本原因就是”量測不準確”所造成的，這個問題發生在圖二中的第四個步驟過程模型，電腦輔助創新工具(含 Goldefire InnovatorTM)建議開發新的替代方式以取代原本的方法。採用不同於 TRIZ 的方法後，”改善 EP-28(量測準確)”造成”EP-25 劣化(時間浪費)”，所建議的創造原則(IP)為”IP-24: Mediator”、”IP-34: Rejecting and Regenerating”、”IP-28: Replacement of Mechanical Syste”與”IP-32: Changing the Color”。考慮上述的原則後，採用新的作業方式，以取代圖 2 中的第四個步驟，所產生的變

更過程如圖三所示。請注意以新的作業方式取原先過程的”填入熱拌瀝青混凝土”，第四個步驟的新作業方式採用雷射掃描器與相關軟體，以量測所需加入柏油混凝土；在方法設計中，可以瞭解這樣的替代方式。



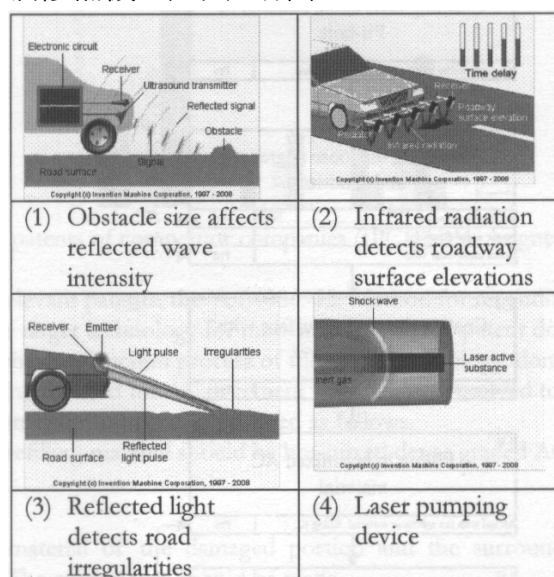
圖三 修正之過程模型

新作業方式的想法能夠以”How to fill the pothole?”方式來請求知識資料庫產生，建議的解決方案如圖四所示。在圖四中，提供四種解決方案：(1)障礙物大小影響反射波強度－聲波感測器可用來偵測障礙物；(2)紅外線偵測路面高度－可以使用紅外線裝置；(3)反射光偵測路面不平整－可以使用光偵測器；(4)雷射裝置－建議採用雷射裝置。

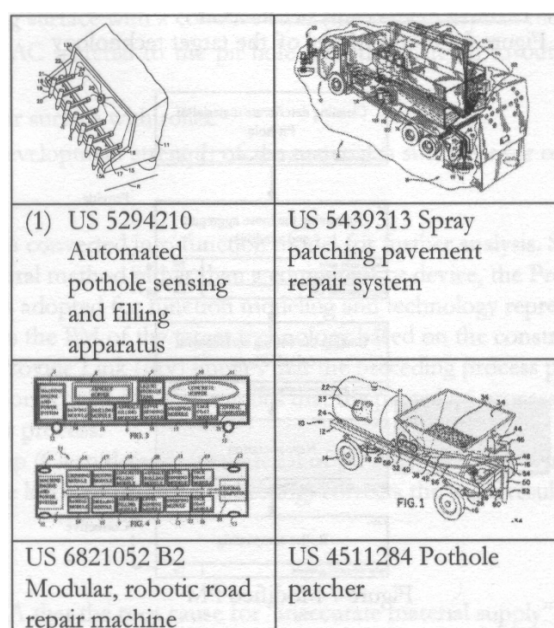
第四種解決方案由追回 Science Effect 資料庫的”效應鏈”來取得，圖例說明前三種解決方案。

同樣地，Goldfire InnovatorTM 推薦四種發行的專利：(1) US 5294210-自動坑洞感測與填補裝置；(2) US 5439313-噴補式修路系統；(3) US 6821052 B2-模組自動化修路機；(4) US 4511284-坑

洞修補機，如圖五所示。



圖四 Science Effect 資料庫推薦的解決方案



圖五 專利推薦的解決方案

## (5) 替代性評估

就功能性、營造性與成本效益方面，經諮詢專家進行定性替代性評估。評估結果如表 2 所示，所需建材量與原本技術的建材供應由作業人員以人工方式進行量測，現在由自動設備與技術來取代。因此，改善了功能性與營造性，但是新的作業方式需要

額外的設備，因而增加成本並降低成本效益。

表 2 創新技術評估

| 標準   | 技術   |      |
|------|------|------|
|      | 原本技術 | 創新技術 |
| 功能性  | 中    | 好    |
| 營造性  | 中    | 好    |
| 成本效益 | 好    | 差    |

## (6) 方法設計

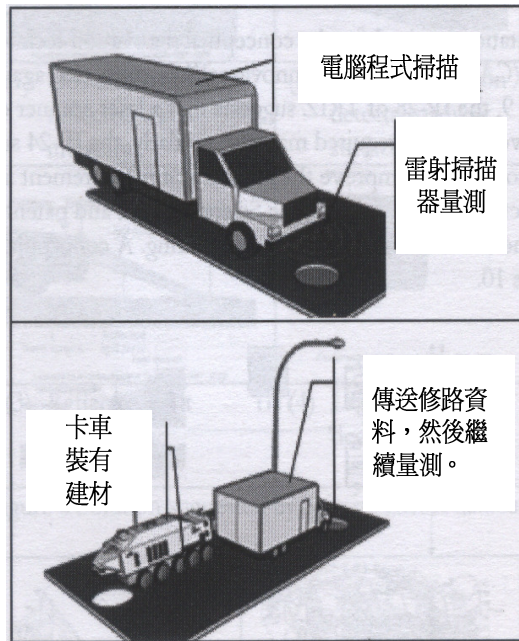
在這個步驟中，設計了概念創新技術之實施方法，Goldfire Innovator™ 電腦輔助創新(CAI)工具再次被用來產生設計情況。從圖四與圖五，TRIZ 的 IP-28 建議採用雷射掃描器，對坑洞量與所需建材進行量測；同樣地，IP-24 建議電腦軟體可當作中介者，能夠改善量測準確性與所需建材供應，這兩種功能可在 Science Effect 資料庫與專利資料庫取得。不過，兩種功能在修路時並沒有結合。

## (7) 雛型建立

創新技術實際上尚未實行，但創新技術的雛型圖如圖六所示。雛型技術由四大構件所組成：1) 雷掃描器－偵測與掃描坑洞；2) 瀝青混凝土刮除器－清潔與清除坑洞裡的建材；3) 裝有相關軟體的電腦－利用掃描資料計算坑洞量；4) 柏油混凝土修補機－將瀝青混凝土填入所需的數量與壓實路面。

## (8) 實驗與測試

直到本文投稿期限為止，雛型技術仍尚未進行實驗與測試，此屬日後研究的一部份。在完成概念設計後，創新技術的專利應用存檔於台灣智慧財產局(TIPO)。



圖六 技術創新示意圖

## 5. 結論

在本文中，我們提出一種快速營建技術創新之 STIP 法。不像傳統模擬技術，STIP 法產生替代性技術，係依問題解決技術(例如 TRIZ)與技術資料庫(例如 Science Effect 與專利資料庫)。因此，營建技術之”基本”或”系統”創新能夠達到像 Slaughter 分類。

對瀝青混凝土坑洞修補技術創新進行 STIP 過程創新個案研究，以驗證並測試所提出的 STIP。在 STIP 程序後，目標技術之創新替代方式已被成功產生與設計。

因此，所提出的 STIP 法具過程技術創新之可行性與適用性，像路面修補。確信這種方法也用來創新營造過程與技術。

雖然概念創新技術雛型已被開發，但在實際上應進行實施與實驗，以驗證所提出的雛型，這屬後續研究。此外，創新技術在本文中進行定性評估，定量評估則在日後的技术實驗與測試來進行。

## 附錄五

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－機器人科技

### 營建自動化機器作業用輕型 3D 雷射雷達

Yong K. Chao<sup>1</sup> and Diego Martinez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor (corresponding author), Construction Engineering and Management Division, Charles Durham School of Architectural Engineering and Construction, College of Engineering, University of Nebraska Lincoln, 1110 S. 67th St. Peter Kiewit Institute (PKI) 104C, Omaha, NE 69182; PH(402) 554-3277; FAX (402)554-3850; email: ycho2@unl.edu

<sup>2</sup>Graduate Research Assistant, Computer Engineering and Electronics Department, College of Engineering, University of Nebraska Lincoln, 1110 S. 67th St. Peter Kiewit Institute (PKI) 118A, Omaha, NE 69182; PH(402) 554-3277; FAX (402)554-3850; email: dmartinez@mail.unomaha.edu

#### 摘要

本文針對 Nebraska-Lincoln 大學 Peter Kiewit 學院(PKI)之輕型三維(3D)雷射雷達測距(LADAR)系統開發進行研究，所開發的 LADAR 可應用在好幾種營建自動化、機器人、自動導航、逆向工程、品保/品管、進度管制與安全上。對 LADAR 系統在動態行動平台之設計概念進行介紹，其特別對準確營建自動化機器作業設計，像焊接、栓緊與建材接合。此外，作業區快速 3D 圖形顯示之困難也進行說明。初步實驗室測試結果證實，本文所用之 3D LADAR 掃描器提供可靠的掃描資料。跟大部份的重型商用 LADAR 產品不同之處，由於所開發的經濟型 LADAR 系統輕巧設計，因此可用在行動平台與操控器或限制區的掃描應用上。

**關鍵字：**3D 掃描器、LADAR、雷射、圖形顯示、自動化、營建自動化、誤差

#### 1. 介紹

營建工程每天在工地要很長的時間，進行確認並追蹤營造建材與設備，便於擷取、調準工地量測資料並與規劃的資料進行比較，才能偵測缺失並改善品管。因此，需要快速目標辨識與準確量測，便於現場進行決策。尤其是工地三維(3D)圖形顯示，最能有助於建材追蹤與自動化設備管制，大幅改善安全並增加遠端操作人員對作業區空間的瞭解。FIATECH (2008)想到讓工地變得更加“智慧整合”，如同建材和設備，施工人員只要負責監控作業環境。

雖然有研究已經證明作業環境的

3D 圖形能夠大幅增加營造缺失的控制、建築材料追蹤、時程與自動化設備管制，但是無系統化的作業區像施工區不易以圖形表示，因為它們有無法預測活動過高並改變快速。自動化施工區作業，例如機器人作業，需要周圍作業環境的即時或近即時資訊，使得圖形塑模與更新更形複雜。尤其是營造固態建材的處理作業，對無系統化的作業區不僅需要快速圖形顯示，而且在目標物體與自動化設備或機器人之間的安全性要有高準確位置資料。

本文不僅討論現行 3D 圖形顯示技術與在營建應用上之限制，並且採用

施工區自動化所開發之 3D LADAR 掃描器。

## 2. 現行 3D 圖形顯示技術

本節主要說明工地現行 3D 圖形顯示技術之應用性。

### 2.1 攝影系統

CCD 攝影系統在控制環境下有助於作業區觀看，由於需要長距離位置量測，因此在重型營建上無法準確取得物體型態。此外，在任何影像應用上，均勻照明對於準確作業區資訊相當重要，其說明為何大部份裝有影像攝影的自動化系統主要室內用，包含汽車、電子、封裝、機構與食品。在無系統性的室內外工地，由於日照情況、天候不佳與塵雲的影響，因此利用影像攝影系統來取得高準確性的位置資料並不實用。在這些情況下，距離感測器像雷射、超音波感測器，可能有助於機器人操作(Sprovieri, 2007)。

### 2.2 Flash LADAR 研究

新型測距技術稱為 3D 測距攝影機或 Flash LADAR，係採用光學時移式掃描原理。在室內照明環境下，Flash LADAR(SR4000)在 Z 軸像素評估準確度為 $\pm 1$  公分與 54 個視框率(FPS)，

### 2.3 ZScanner

Z 公司(2008)開發出第一部手持式自行定位掃描器，其採用物體掃描以建立空間參考物體，讓不易到達的表面不需使用三角架、機械手臂或外接定位裝置即可進行掃描。由於有特殊參考功能，因此系統讓目標物體能夠在掃描下移動，即可看見掃描的即時影像，然後擷取連續掃描的資料，而非只是固定位置的照片，消除許多後段處理時間。掃描解析度與準確度在

40m(微米)，並且偵測表面高度變化到 50m。此外，掃描器支援 STL 與 TXT 檔案格式。要自行定位，ZScanner 採用反射目標，選取被掃描的物體表面與/或物體附近的區域，這些反射目標能夠快速又隨機選取。在掃描過程中，ZScanner 能夠即時找出並記錄反射物體，各別的位置以掃描器當作參考來計算並記錄。物體上的目標形成 ZScanner 辨識的圖案，由於目標隨機選取，因此具有定位功能的圖案並不會重複。這種圖案辨識讓掃描器自行定位，就跟使用已知衛星的 GPS 裝置方式一樣，在地球上進行定位(Z 公司, 2008)。

在本文中，ZScanner 先以假鴨子模型進行測試，在上面貼有許多反射點(目標)。掃描器在掃描鴨子模型時，能夠即時建立鴨子的 3D 圖形。SR4000 測距範圍從 0.3 公尺到 5 公尺(Mesa Imaging, 2008)。雖然 LADAR/LIDAR 需要掃描物體或現場來收集點資料集(點組)，但 Flash LADAR 系統不需掃描指示功能。相較於商用 LADAR/LIDAR，採用 Flash LADAR 的好處有輕巧便宜又有即時 3D 影像，缺點包含影像大小有限與低準確度和解析度。此外，Flash LADAR 最新版的 SR4000 主要設計室內用，雜訊準確度無法直接在日照下使用。

此掃描器的限制為量測範圍過小(大約 1 公尺以內)，所以無法建立像人耳一樣的複雜表面模型，因此攝影機無法取得清楚照片。例如人的頭部在測試時，攝影機只看見一個”眼睛”，其它部份無法”看到”而建立不起完整的模型。

## 2.4 LADAR/LIDAR(3D 掃描)技術

雷射測距(LADAR)或光學測距(LIDAR)技術已被用來形成建築物與現場之 3D 模型，作為品管、探測、繪圖、逆向工程、地形、自主式車輛導航、車輛安全與警告系統(Cheok 等人 2005)。一般來說，時移式(TOF)測量或相移式測量用於雷射掃描系統，能夠產生由許多 X、Y、Z 與 I 所組成的資料集，其中 I 表示反射雷射的強度，資料集的點當作點雲。最先進的 LADAR 技術，像 Leica ScanStation 與 RIEGEL LMS-Z390i，每次 50 公尺量測大約有 4mm 距離準確度與 6mm 位置準確度。從現場取得點雲時，誤差就會變得較大，準確度跟感測器準確度以外的其它因素有關，包含量測目標類型、物體大小、表面方位甚至表面材質，例如黑色、反射率(Akinci 等人 2006)。

#### 2.4.1 時移式(或)對相移式測量

時移式掃描器的資料擷取率為每秒 4000 個點到 6000 個點，因此能夠擷取 130 公尺到 200 公尺範圍的資料，這跟所掃描的材質/物體類型、反射率有關。不同於時移式掃描器，相移式掃描器的資料擷取率較快速，例如 Z+F 雷射掃描器 TM 每秒擷取 25000 個點，因此在短時間內產生高點雲密度。不過，相移式掃描器測距較短(大約 40 公尺到 80 公尺)。Leica ScanStationTM 與 RIEGELTM 均屬時移式掃描器；FaroTM 與 Leica HDS 6000TM 均屬相移式掃描器。

### 3. 3D LADAR 雛型開發

在環境狀態不佳的作業情況下，LADAR/LIDAR 系統功能雖優於機械式攝影系統與 Flash LADAR，但 LADAR/LIDAR 技術用於營建自動化上仍有限制。因為營建自動化作業需

要減輕實際體積與重量，所以大部份的商用 LADAR 使用上困難，同時裝設在自動化系統上過重又昂貴，例如 Leica ScanStation 電池重量大約 30 公斤。為了解決這個問題，本文開發輕巧的 LIDAR 系統，由 2D 線雷射與旋轉傾斜座(PTU)所組成，可裝設在活動平台或用於有鉸接臂的區域掃描。

作為 LADAR 系統主要元件的 2D 線雷射係屬精密掃描組件，將雷射光束偏移 90 度，以鏡子旋轉方式進行 2D 全圓掃描。搭配旋轉傾斜座時，2D 線雷射形成輕巧又實用的 3D 掃描器。根據應用目標類型，選擇線雷射是主要考量的因素，其包含解析度、準確度、重複性、距離範圍與室內外用。

在本文中，訂製的 LADAR 掃描器每秒提供高達 20 萬個點雲，15 公尺距離有 8mm 準確度。本文所開發之 LADAR 系統掃描器設計概念，只要更換線雷射來符合應用需求，就能夠適用於好幾種應用。例如，工業焊接/栓緊用機器人與醫療掃描作為室內用可能需要高解析度、準確度與重複性，也可以短距離範圍使用。起重機與施工區安全之應用主要需要長距離的雷射，針對室外環境使用。

要進行現場的目標量測，單軸雷射測距儀搭配 3D LADAR 系統使用。為了方便實驗室實驗與軟體開發，將感測器與控制單元裝設於訂製活動推車上，亦可做為活動營造平台進行模擬。要掃描有盲點或需要多次表面掃描之物體，將 3D LADAR 系統裝設在精準制動器所控制的旋轉式鋼臂上，以模擬機器手臂。根據現行雷射裝設方式，解決多重自由度(DOF)的運動力學來取得 LADAR 與雷射測距儀的



x-y-z 點。在分析 LADAR 系統的運動力學時，使用了 Denavit-Hartenberg (D-H) 參數 (Craig, 1986)，其明確說明連結與接合位置，可當作新舊座標系統的座標轉換。

### 3.1 降低雜訊

影響雜訊準位之參數有取樣率、周圍燈光、溫度、目標表面方位、目標表面顏色特性，像灰階、材料類型、混合像素與可見性不佳 (Akinci 等人 2006)。周圍燈光與溫度對距離準確度影響不大，但本文中的準確度對表面方位、反射率與顏色(灰階)相當敏感。根據目標灰階，因此需要調整振幅比例以獲得較佳的結果，振幅比例決定光線強度或亮度。測試結果顯示，根據目標表面的顏色，振幅比例進行事先調整時，大大影響雜訊準位。

顯示採用 KUKA 試驗台所獲得之結果，KUKA 機器人依 3D 掃描的資訊，用來模擬焊接、撿取與放置作業區，以評估所開發的 LADAR 系統準確度與效率。

## 3.2 現行研究成果

本研究係屬持續性作業，因此研究團隊現在著重於下列兩項工作：

### 3.2.1 機器手臂多重掃描

理論上，掃描器裝設在機器手臂上搭配掃描現場，即使掃描器無法以目標當作參考的位置進行掃描，也能對不同方位兩次以上的多重掃描。不過，實際上因旋轉與分光接合感測器、後座力造成制動器移動所累積的回饋誤差，讓機器手臂或控制器產生位置誤差。由於有裝載的關係，因此動態也會影響誤差 (Cho 等人 2004)。研

究團隊現在研究旋轉臂感測器與旋轉傾斜座所造成的誤差如何影響理論動態解決方案。

### 3.2.2 自動目標偵測與轉換

雖然建立 CAD 模型與現場資料集之間的對應點來辨識物體並非新的點子 (Grimson, 1990)，但仍非一件輕鬆的工作，尤其現場資料集包含大量雜訊點。如果固態物體需要自動存到該資料集，也是一項挑戰性的工作。現在此轉換過程也能手動進行，本文現在開發一種演算法，利用重新排列量測點，能夠評估並預測有雜訊的表面，作為有效目標偵測與轉換。

研究團隊雖然正以不同的方法將物體轉換成 3D 形式，但這裡仍使用 LADAR 影像處理方法。

#### 邊緣偵測

為了自動目標辨識物體，對 LADAR 影像進行量測與分析，以自動找到目標邊緣(圖一)。

圖一 目標物體(左圖)與掃描點雲影像之邊緣偵測

#### 3D 模型轉換

$$E(R, t) = \sum_{p \in P} (d(CLP(p, RX + t)))^2$$

要將 3D 電腦輔助設計模型轉換成 LADAR 影像，利用 Wunsch 與 Hirzinger(1996)所開發的迴圈反視匹配演算法來考量模型疊代過程。由於 3D 點座標並沒有與 2D 影像座標相關的距離關係，因此將 3D 模型投影到 LADAR 影像面上，並且對應影像座標的功能。2D 與 3D 轉換關係式如下 (Wunsch 等人 1996)：

其中 R 為 3x3 旋轉矩陣，t 為直移向量



$$E(R, t) = \sum_{i=0}^N \vartheta(y_i - (R_{xi} + t))$$

$$\vartheta(x) = \begin{cases} 0.5x^2, & \text{if } |x| < a \\ a|x| - 0.5a^2, & \text{otherwise} \end{cases}$$

最近點與估計量相加運算得到下列迴圈轉換式：

For  $k = 0, 1, \dots$  do

$$[x^k, y^k] = \text{CLP}(P, X^k)$$

$$[R, t] = \text{register}(x^k, y^k, w^k)$$

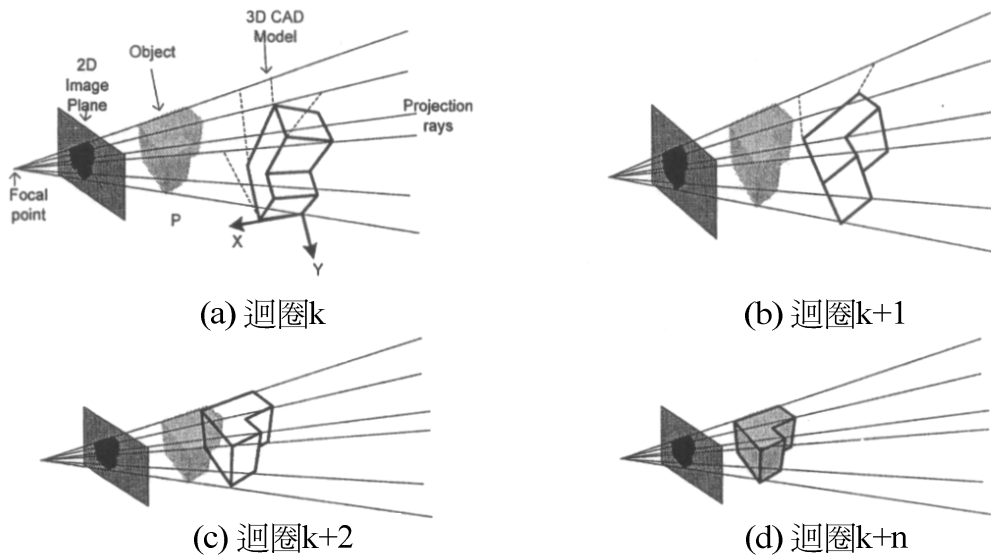
$$X^{k+1} = RX^t + t$$

$$W^t = \text{Computer Weight}$$

endfor

#### 4. 結論

本文介紹 3D LADAR 掃描器研究，研發的輕巧的掃描器已用於不同的營造自動化上，像機器人操控、自動化檢驗、起重機、路面修補與空間掃描，許多商用掃描器因重量過重又昂貴而尚未完全被使用。本文主要採用自行研發的輕巧 LADAR 掃描器，透過提供自動化營造設備與自動化作業之高準確度的 3D 影像顯示，讓工地變得更加”智慧整合”。由於此屬持續性研究，因此研究團隊仍繼續進行，包含多重掃描與轉換、快速即時自動化作業的資料處理、誤差塑模，3D 模型轉換算法與工地導航行動化。



圖二說明使用迴圈反視匹配演算法來選合過程  
(Chen and Medioni, 1992; Besl and McKay, 1992; and Wunsch and Hirzinger, 1996 年)。

## 附錄六

### 2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化與機器人應用

#### 預鑄與模組營造產業之自動化

Joseph Neelamkavil

National Research Council Canada, 800 Collip Circle, London, Ontario, Canada N6G 4X8, Email: joseph.neelamkavil@nrc.gc.ca

#### 摘要

營造業主要由許多小承包商所組成，一般不具先進技術來推動自動化，而能夠以工廠製造方式(模組、預鑄、面板、預製等)的公司即屬例外。由於產品在工廠內製造，因此適用於量產與大量訂製的原則，才適合自動化、整合與最佳化利用；在此情況下，建造前先查驗其營造作業特性，才能獲得最佳營造狀態。採用新建材，使其誤差為最小，如此產品才能不受現場施工的情況之天候影響。透過觀察預鑄公司內的自動化需要，我們不僅研究數種與營造相關的自動化技術，而且還請教預鑄產業以瞭解實際使用狀態。本文對研究結果提出結論，概述產業自動化類型與預鑄自動化技術回顧。學界有意識到自動化的同時，也有助於預鑄產業人員更加瞭解營造自動化。

#### 介紹

由於營造產業之獨特性，因此對其它產業的直接技術轉移造成挑戰，例如量產與/或大量訂製的產業。這樣提供研究人員機會進行營造相關研究，並且涉及許多跨企業與市場的資訊與技術使用。關於預鑄營造產業之自動化，一般屬於下列三類的其中一型：1)預鑄構件製作過程(零件、面板、預製、架構等)，主要處理建築物營造；2)由許多承攬商將營造構件(通常由不同供應商提供)裝設在建築物、房屋等之組裝過程，有時跟作業流程衝突；3)表示交易與支援過程(專案管理、供應鏈管理、文件管理、作業流程管理、變更管理、規劃與排定排程等)之營造過程。

#### 未來家庭專案

歐洲預鑄自動化專案－未來家庭－於 1998 年開始推動，並於 2002 年完

工。未來家庭專案之主要目標在於開發整合營造自動化概念與家庭營造相關技術，從建築師設計桌到工地機器人，其包含：a)建築物模組設計與自動化建造，b)遠端預鑄自動與即時規劃、搬運和工地組裝以及 c)工地自動化搬運、操控與預鑄零件組裝。未來家庭建築系統來自特定預鑄的零件裝備法，如 Wing 等人(2002)所說明採用虛擬實境，提供客戶、建築師、工程師、建商共用之虛擬環境。透過連線的”預鑄”構件，客戶可以瀏覽虛擬房屋。此外，營造過程也可以模擬，便於成本、品質與時間檢驗。這是一種使用者能夠以預鑄構件來設計之環境，3D 視窗列出可用的構件資料庫，能夠自動進行組裝。

使用者選擇一個構件並以 3D 圖形觀看，然後選擇將構件加入設計，利用碰撞偵測與限制塑模技術以消除互

相影響。如 Dietz 等人(2007)所說明，已開發好幾種組裝接頭，作為模組組裝、結構連接、電氣與維修管連接用。這些接頭確保模組之間的自動組裝性能，值得注意的是本專案所開發的工具 AUTMOD3-自動模組營建軟體環境，此系統在商用 CAD 程式下整合了建築設計、規劃與模擬工具。

### ManuBuild 專案

另一個預鑄自動化專案—ManuBuild—於 2005 年開始推動，並於 2009 年完工。此歐洲專案，如參考 Bock(2006)與 ManuBuild 網站，已經設立目標，使得客戶能夠以低價購買高品質與設計的房屋。為了讓交易過程進行，ICT 系統、新材料與智慧型構件均為此專案的主要特色。ManuBuild 已設立目標：‘客戶使用互動式藝術工具，主動參與本身住宅的設計；搭配大量客製化，並且提供客戶更多選擇與設計；有效率、多樣、大量製造概念達到量產效率；產品與構件採用開放式系統，以具競爭價格來供應。’可能的影響包含不良品、營造成本、時間與營造意外件數的降低。為了達

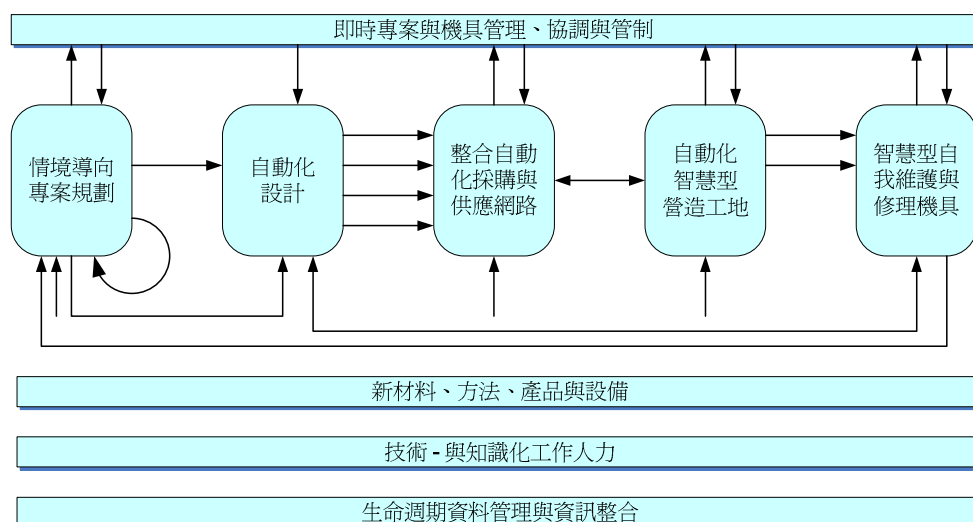
散建築物營造的支援。要達成此目標，已開發出數種決策工具，從產品型錄、資訊傳送、設計、客製與組裝規劃。

### 其它重要專案：

還有其它重要的營造自動化專案持續進行中，尤其在美國。例如，FIATECH(2004)建立主要專案圖(參見圖一)，以整合不同功能與營造專案/機具管理環境所需之任何資訊，如 Bowen 等人(2006)所說明。在本文中，我們限制了自動化範圍有 a)自動化設計、b)整合自動化採購與供應網路、c) 自動化智慧型營造工地。

### 自動化設計

營造在建築環境的設計階段就可能發生爭議，此階段的主要考量在於自動化設計的進步，改善成本效益、增加專案生命週期與提供專案生命週期之間的互通性，因而大幅降低成本。因此，3D 設計、分析塑模、模擬與分散式智慧之技術整合提供真正建立自動化整合設計環境的機會，這樣大幅減少自動化設計優化與驗證的錯誤。優化可能包含許多選項，包含安



圖一： FIATECH 重要技術圖(來源：Bowden 等人, 2006)

到自動化，ManuBuild 主要給予 ICT 分

裝費、生命週期費與生產費，應以準

確又圖形顯示的環境下處理設計選項。

現在 3D 塑模工具內嵌預定物體，不僅便於營造系統 3D 開發、選擇與連線，而且還提供衝突偵測以確認構件之間的相互干擾。4D 塑模工具(3D CAD 模型加上時間變成四維)連結 3D 營造專案範圍與排程，以模擬實際的營造過程。如 Staub-French 與 Khanzod(2007)說明，其優點包含不受營造干擾、不需重工、少許變更工單、增加生產率與降低交貨時間。以 4D 環境審查專案排程，並且參考 Yerrapathruni 等人的研究(2003)，營造專業人員可以確認設計、營造性、順序與各種介面問題。

### **BIM 與資料交換模型**

建築資訊模型(BIM)的自動資料交換與使用扮演達到營造自動化之重要角色，如 Autodesk 網站說明，BIM 係屬一種建築設計方法，具有建立營造專案協調和使用內部運算資訊之功能。此外，根據美國建築科學學會(NIBS)所發行之國家建築資訊模型標準，BIM 定義為”機具數位功能表示。因此，當作機具的知識分享資源，在生命週期開端就成為可靠標準。”。BIM 屬於建築參數模型，不僅記錄、表示與管理構件等級之物體資料，而且還能夠以不同方式觀看建築物體之間的關係。從生命週期的觀點來看，BIM 讓建築師、工程師、承攬商、業主與機具管理人員能夠分享整個建築物生命週期的資料。所分享的資料包含初始設計資料；地形資訊；金融與法律資料；塑模結果以及其它資料，如 McGraw\_Hill 2007 年說明。將 BIM 放在適當的位置上，許多資料(一般在

中型與大型專案中)在主要成員之間能夠持續交換，這樣有助於影響更多資訊來源的事實、圖形、設計與分析持續更新，確保以準確資料來進行任何決擇。

### **自動供應網與建材管理**

如 Ganeshan 與 Harrison(1995)說明，供應鏈係指一種機具銷售之網路，其能夠進行建材採購、將這些建材製作成半成品與成品以及將成品銷售給客戶。透過正確管理網路，我們能夠確保產品以正確數量、地點、時間與最低成本來供應。另一方面就是組織’協調’，Xue 等人(2005)提出供應鏈協調代理架構，係依多重屬性協商與通用理論。這裡說明的重要特色就是不同組織之間的協調決策過程，即透過整合營造供應鏈所涉及的主要營業過程與重要成員，包含客戶/業主、建築師、承攬商、供應商等人。供應鏈管理的互補功能即為建材管理，Berkovich (2005)提出建材管理與管控模型，其包含建材採購、運送與使用。智慧型自動化資料搜集技術透過條碼機、RFID 與/或個人數位助理，與此系統搭配作為建材追蹤。

### **預鑄產業之自動化**

機器人先應用在構件與模組製造，後來開發活動式機器人作為特殊營造現場作業。如 Bock (2004)所說明，機器人在日本 Sekisui Chemical Skisui Heim 生產線扮演重要角色，其中有超過 85%的房屋進行預鑄。Bock (2007)針對自動化預鑄混凝土工廠說明，其採用多功能機器能夠生產混泥土地板、牆面與屋頂板。因此，根據 CAD 資料，多功能雙臂式起重機不僅能夠將磁力發電機裝設在鋼台上，還能將

擋板裝在磁力發電機上方，依設計可放置平臥式、直立式與三角式鋼筋條。雖然採用 CAD 配置圖控制，但 CAD-CAM 控制的分配器仍正確分配混凝土量，其中還將裝設、窗戶或門口考慮在內。

Kye-Yong Lee 等人(2006)研究人機搭配(HRC)系統，透過即時人機互動方式來解決營造環境，自動系統有助於人類處理重型建材，人類可以感受並回應機器和作業環境產生的力量。此外，也進行實驗、評估研究與提供性能測試，像雙軸操控器的力量協助、力量反映與位置追蹤，以驗證 HRC 系統之自動化應用。Engelbert Westkamper 等人(2000)開發一套自動瓷磚鋪設系統，由瓷磚定位裝置、對中量測系統與鋪設裝置所組成；黏著系統由黏膠調配裝置所組成；瓷磚供應系統由儲存與量測裝置所組成；過程參數產生系統；以及配有工業機器人和過程控制之處理與定位系統。Penin 等人(1998)與 Paster 等人(2001)替西班牙營造公司開發了一座自動化調製室，生產預鑄強化鋼筋混凝土板，作為自動化程式設定與建築外牆製造管控，而且以建築外牆的 CAD 3D 圖作為輸入。

### 自動化工地

自動化工地可能使用物流與組裝機器人，但是會遭受許多技術或經濟障礙，其中技術障礙有機器人不僅必須處理涉及瞬間萬變的複雜工地營造過程，而且還進行不同屬性的作業。如 Zied (2007)說明，營造機器人研究能夠克服技術障礙，透過：a) 行動平台與操控器開發，b) 控制系統與感測系統整合開發，c) 過程重新規劃以符合自動化系統，d) 支援上述功能之軟體

開發，並且使用先進資訊技術系統來增強整體系統性能。經濟障礙也會影響營造自動化系統的執行，像：a) 成本對效益，b) 新系統實施所需之變更，c) 新系統對整個組織之影響，包含安全健康與工會考量。

Martinez 等人(2008)對營造過程自動化與工業化進行報導，其目標有：a)建築物模組化設計與建立；b) 遠端預鑄、搬運和現場組裝之自動化與即時重新規劃。此外，還開發不同建築物構件與模組組裝之工具。SMART (Shimizu 採用先進機器人技術所開發的製造系統)代表一種電腦整合營造的系統方法，系統裝設只需幾週，在建築物頂樓裝有四座起重塔後。作業平台上的起重塔不僅用來將數噸重的組件向上推，而且還在樓層間吊升，系統也包含裝設在作業平台上的吊升裝置與自動輸送設備。

高架起重機連接頂樓的底側，吊車用來吊升並固定地面的預鑄構件，樓層從頂樓下方露出。儘管工地作業人員監督營造，但整個過程由電腦控制。

Wakisaka 等人(2000)說明類似的鋼筋混凝土高樓營造系統，通常稱為‘大天篷’，由平行輸送系統、三台自動高架起重機與一台大型吊車所組成，能夠同步全天候進行操作。建材管理系統也係屬其中一部份，包含資料庫連線與 CAD 系統通訊，以獲取預鑄構件資源。大天篷營造系統分為下列子系統：a)有四根在建築物外面的起重塔柱所支撐之樓頂；b)複雜吊升系統，包含裝設於樓頂之三台起重機；c)裝設與拆卸起重塔柱之鐵臂式起重機；d) 高速起重機；e) 採用易於辨識

(RFID 等)之預鑄構件；以及 f) 建材與輸送系統來管理建材與構件流程。

### **預鑄產業之虛擬實境與模擬**

虛擬實境(VR)提供即時的空間資訊顯示與互動，圖形化顯示不僅可以模擬像構件生產、運輸、處理與組裝等之工作，而且還可用來評估建築物如何依序組裝與重新使用不同營造階段的模型，使得團隊成員能夠以圖形方式來觀看特定工作與不同承攬商工作之間的關係。

Li 等人(2008)針對提供虛擬實境技術的一般承攬商之整合架構與過程進行說明，在此架構下，專家(過程塑模者)接收設計人員的 BIM 模型，將其分解成承攬商與顧問所需的格式。同時過程塑模者將團隊成員提供的資訊與 BIM 模型整合，以建立營造過程雛型圖形。透過迴圈，過程塑模者讓營造團隊能夠在虛擬環境下進行不同營造方法的‘狀態’分析，直到找到滿意的方法為止。

### **預鑄自動組裝之規劃**

建築物由構件所組成- 基本建築模塊- 依建築規則與限制來進行營造。在有些觀念上，建築預鑄營造跟產品製造方式相似；如果我們將組裝當作拆解的反向順序，就能夠推測整個組裝過程。不過，構件組裝不僅跟幾何特性有關，而且還跟構件組裝方式與空間限制有關。Hu(2005)開發一種營造順序自動化的方法，即透過擷取構件與拆解驗證來表示預鑄建築物。對於以幾何與實體方式緊密連接但和組件的其它部份任意連接之構件，被擷取當作超級構件，透過事先消除不可行的營造程序，讓擷取構件的過程不僅能夠降低問題空間，而且還明確

定義時空並行營造。Benjaoran 與 Dawood (2006)開發一種稱為”人工智慧規劃者”(AIP)之創新規劃系統，有助於’訂製’預鑄生產計畫自動化，其資料整合功能促進在規劃過程之自動化，而且決策功能也讓規劃者能夠改善生產計畫效率。

這兩種功能彼此互補，提供預鑄製造商最佳效益，AIP 系統採用人工智慧技術(神經網路與基因演算法)有助於生產規劃。

### **排程自動化與感測器控制**

有效率的生產排程讓預鑄構件能夠自動化，在此議題上已有好幾種排程標準報導。例如，Chan and Zeng (2003)說明協調預鑄排程之決策系統，其支援生產(重新)排程的關鍵要素，像衝突偵測、衝突解決優先順序、衝突解決替代方案之產生與評估以及協調結果排序。決策系統採用明確的限制排程模型與基因演算法(GA)，以決定排程參數與衝突解決優先順序。

在 Leu 與 Hwang(2002)所提出的混合預鑄排程系統中，也採用以基因演算法為主的搜尋技術，即使符合資源限制與混合生產，但也提供生產順序、資源分配與製造時間之近似最佳化組合。進行營造前請先注意，運送到工地的構件需要被檢驗、儲存與追蹤，而且詳細的裝設方式也需要適當的文件。預鑄構件裝設位置需要知道，並且以最短時間內運送到工地。

Gajamani 與 Varghese(2007)已提出 RFID 位置即時追蹤排程監控系統，其採用預鑄構件，資料以即時方式收集並以軟體系統進行轉換，作為控制、現場建材管理與日後使用。

### **結論與後續研究**

自動化之最終目標在於改善生產力、品質與安全，而且還能降低成本。本文所說的自動化技術類型係以實際營造專案與建築系統研發為主：即營造構件、模組、壁板、房屋等。顯然在預鑄與模組營造自動化的三大方面有：設計、建材處理(機器人等)與營建過程(包含規劃與排程)。總結得知，某些自動化類型可能成為日後建築之標準，預鑄產業之研發方向係依本文說明如下，與當地營造業互動與瞭解其它產業像製造業所用的自動化類型。此結論由 Mullens (2004)調查結果、製造研發聯盟技術開發圖與顧問報告總結補充，開發圖詳細說明工廠生產力(構件製造的地方)、構件品質與功能和後續建築組裝。

### **預鑄工廠自動化—生產力**

由於採用製造業改革的技術，因此預鑄製造商能夠迅速改善終端產品的效率-建築物。未來的營造商會透過生產、資訊與自動化技術來評估改善生產力的方式，包含有效率的儲存方法、減少營造廢棄物的開發策略與採用回收技術。同時，開發並採用無缺失的構件搬運技術與運輸系統，以提供高性能、低成本與建築物結構系統整合。支援過程包含優化、模擬、圖形表示與專案管理工具，以評估並管控替代方案；建材準時到達工廠，便於生產並儲存使用處附近；即時確認並追蹤構件，以監控所有物品的位置與狀態；建材處理與製造過程自動化，避免人員傷害、物品浪費降至最

低、確保功能並增加生產力。生產文件要正確且即時提供，可遠端連線存取。員工不僅瞭解任何工單狀態與確認任何資源限制，而且還能夠反應以符合排程規定。將產品重工降至最低，生產流程順暢並與需求同步。

### **預鑄營造自動化—品質與功能**

採用先進技術改善產品品質是相當重要，未來預鑄產品如何變化要深入瞭解。預鑄模組與建築物均採用一種系統整合設計、規劃與營造之方法，建築系統(頂樓、牆壁、地板等)讓整合性能達到最大化。營建商採用整合結構系統，能夠抵抗在構件/模組搬遷與工地裝設時所施加的力量，因而開發新配件與小配件，以改善性能便於廠內裝設。此外，還將配管工程與機械系統整合到整個模組，包含新接線與纜線系統，讓整個建築性能最佳化。搭配有線與無線技術功能，並且還能提供系統，同時確認建材缺失與/或製造系統連線與/或裝設問題的原因。開發新的生產、裝設與連接技術(例如扣件、接頭等)，以及採用新設計將故障降至最低。虛擬實境提供預鑄構件與配件之設計，並且模擬營造過程成為標準，預鑄模組採用 3D 模型資料庫，可用來作為建築物的互動設計。建築物的設計與作用有助於住戶的健康，而且採用污染源控制、通風改善與溼度管控系統和程序，還開發新的節能技術與策略，讓營造環境更節能，甚至比周圍建築物還節能。

## 附錄七

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化與機器人應用

### 運用閃爍式雷射雷達 3D 資料於自動化營造設備操作之快速 3D 物件塑模

Hyojoo Son<sup>1</sup>, Changwan Kim<sup>2</sup> and Yoora Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Assistant, Dept. of Architectural Engineering, Chung-Ang University, 221 Hueksuk-dong, Dongjak-gu, Seoul, Korea 156-756, PH (82) 2-825-5726; FAX (82) 2-825-5726; e-mail: hjson0908@wm.cau.ac.kr

<sup>2</sup>Assistant Processor, Dept. of Architectural Engineering, Chung-Ang University, 221 Hueksuk-dong, Dongjak-gu, Seoul, Korea 156-756, PH (82) 2-825-5726; FAX (82) 2-812-4150; e-mail: changwan@cau.ac.kr

<sup>3</sup>Research Assistant, Dept. of Architectural Engineering, Chung-Ang University, 221 Hueksuk-dong, Dongjak-gu, Seoul, Korea 156-756, PH (82) 2-825-5726; FAX (82) 2-825-5726; e-mail: saeara10@nate.com

#### 摘要

在特性不易表示或時常改變的營造工地中，3D 物件自動化辨識與塑模對於自動化重型設備操作相當重要。自動化透過提供互動資訊顯示，讓重型機具在營造時有準確、有效率且自主作業，本文說明運用閃爍式雷射雷達 3D 資料於 3D 物件辨識與塑模系統，以及快速又有效達成營造目標。所提出的系統由四大步驟所組成：資料擷取、預先處理、影像物件分割與 3D 塑模。在物件分割過程中，分併演算法係將影像物件分割成各別物件，運用於影像作為物件分割。整個過程以自動並近乎即時又可接受的準確度來進行，系統也適合室外環境用。結果顯示，所提出的 3D 物件辨識與塑模系統在速度與準確度之間達到不錯的協調性，因此可用來提升重型機具自主操作之效率與生產力。

**關鍵字：**3D 物件塑模；3D 物件辨識；營造自動化；營造重型機具、閃爍式雷射雷達(LADAR)、影像分割

#### 1. 介紹

近年來，隨著感測器技術的進步，以改善工地機具操作效率與安全方式讓營造機具自動化變得更可行。儘管重型機具自動化對於生產力改善有重大的貢獻，但是需要以有效率的方式將作業區表示成 3D 並搭配機具操作控制。此外，營造自動化之 3D 塑模法還必須符合要求；資料擷取速度、複雜度、多功能與自動資料處理。

3D 塑模法近來被研究作為不同營造作業區的應用，像建築圖、機具操

作人員的圖形回饋與營造建材追蹤。大部份的營造業 3D 塑模研究運用大型昂貴的 3D 雷射掃描儀，以產生高密度的點雲。雖然 3D 雷射掃描能夠形成掃描場景的模型，有助於取得現有結構的建築圖，但是接收的點雲需要進行處理來形成 3D 模型，因此處理整個 3D 掃描過程太過煩瑣又耗時。就處理時間來說，3D 雷射掃描儀一般無法用於即時決策。



另一替代方法則採用閃爍式雷射雷達，其包含新型非掃描儀式雷射雷達裝置。閃爍式雷射雷達裝置形成觀察場景的影像，其中每個像素代表對應影像區的強度與範圍(Uijt de Hagg 等人(2008))。

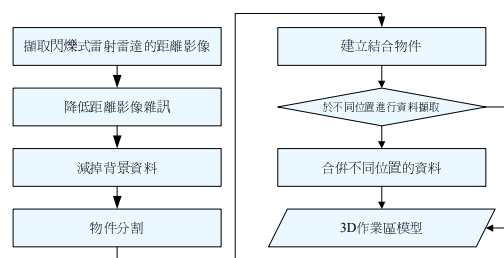
相較於 3D 雷射掃描儀，非掃描閃爍式雷射雷達裝置具有輕薄短小、便宜又即時擷取資料之優點(Stone 與 Juberts 2002；Habbit 等人 2003)。隨著具有高速擷取資料功能，閃爍式雷射雷達一次資料擷取步驟即可產生 3D 影像；此外，還能擷取移動中的物件，以及可提供靜態與動態資料(Habbit 等人 2003)。因此，閃爍式雷射雷達有助於即時應用，像障礙偵測、機具導航與物件辨識(Price 等人 2007)。

雖然閃爍式雷射雷達使用一種達到即時 3D 模型之新方法，但在這方面的研究只有少許部份用於營造業(Teizer 等人 2007；Gong 與 Caldas 2008；Kim 等人 2008)。還有許多工作需要完成，以利用測距資料來達到工地物件自動化辨識、塑模和近乎即時 3D 模型。

本文目標在於利用閃爍式雷射雷達的測距資料，以開發 3D 物件辨識與塑模系統，並且達成快速又有效表示工地之目的。為了達到此目的，我們提出一套演算法系統，不但能夠辨識現場物件，而且還自動擷取物件相關的特徵點與產生每個物件 3D 模型之方法，對所提出的方法性能也進行室外實驗。

## 2. 重型機具操作之 3D 物件塑模架構

在本節中，說明運用距離影像所提出的自動 3D 物件辨識與塑模系統之架構，其流程圖如圖一所示。



圖一 3D 作業區塑模過程

3D 物件辨識與塑模的第一個步驟就是擷取正確涵蓋場景的 3D 資料，如先前說明，需要作業區模型來有效又近乎即時表示工地動態作業環境，作為營造自動化用(Kim 等人 2006)。基於如此，就需要快速 3D 資料擷取與可接受的準確度，才能夠可靠又順利進行 3D 物件塑模。因此，本文採用 SwissRanger SR-300 閃爍式雷射雷達來擷取物件的 3D 資料，在即時的應用中(Bosche 等人 2005)，便於資料擷取速度與 3D 資料準確度之間取得平衡。

一旦取得距離影像，像閃爍式雷射雷達的高速測距掃描儀之距離影像會有相當大的雜訊(Frome 等人 2004)。若雜訊沒有消除，可能對物件辨識造成影響；因此，雜訊必須預先處理，所以採用資料過濾法來消除雜訊的影響。

此外，地面上的物件屬於物件與地面邊緣之間不易辨識的物件。要偵測並移除地面資料，則要採用相減技術。

預先處理步驟先要完成；在不需區別不同物件下，擷取物件特徵點。將距離影像分割成不同的物件，這就是辨識場景物件的分割過程。在本文中，運用分併演算法將特徵點分割成不同的物件。

透過使用幾何元素，建立限制物件模型來表示不同工地場景。如果操作人員從任何參考點觀看的地方受到

限制，而且資料必須從兩處以上位置來擷取，則將不同位置的資料集利用 ICP(迴圈最近點)演算法併成具有共同座標系的單一資料集。透過上述的過程，擷取現場資料所產生的 3D 模型可當作機具操作人員互動回饋的工具。此外，模型能夠如 3D 模擬方式顯示，提供機具操作人員在實際操作前瞭解某方面的工作結果。

### 3. 實驗與結果

本節詳細說明 3D 物件辨識與塑模系統之方法，而且針對室外實驗結果進行討論。進行室外實驗，以建立所提出的物件辨識與塑模系統之有效性。

#### 3.1 預先處理

運用閃爍式雷射雷達擷取資料後，每個距離影像擷取 25,344 筆資料。在室外環境下，由於閃爍式雷射雷達量測限制與室外環境條件(Frome 等人 2004)，因而所擷取的距離影像出現許多雜訊的情況。因此，在本文中，我們提出運用平均差值濾波器濾除雜訊。

本研究所用之平均差值 ADV，即為特定像素與該像素中心 3x3 視窗的周圍八個像素間之平均值。如果 ADV 大於特定預設臨界值，中心像素假設受到雜訊影響並被濾除。否則，中心像素維持不變。透過這些程序，將超過臨界值 0.6 的點濾除。進行許多實驗並發現，成功偵測到閃爍式雷射雷達擷取的範圍影像有相當多的雜訊區，然後才選擇此臨界值。

運用平均差值濾除之後，影像上仍殘留少許斑點雜訊，尤其在物件區，逐漸造成量測誤差。在本研究中，採用 3x3 中間濾波器來濾除斑點雜

訊，並且提供物件表面更加一致。中間濾波器用來濾除距離影像的斑點雜訊，以保留邊緣資料(Doss 2004)。經採用所提出的濾除法後，保留物件區而雜訊降至可接受的準位。

不過，在此情況下，有大部份的點對應地板，因而不易將物件分割。因此，物件塑模所要進行的下一個步驟就是清除對應場景地板的資料。在感測器裝在剛體上且高度與垂直角已知的情況下，就直接進行地面偵測。在資料進行適當的座標旋轉後，可使用臨界值(Bostelman 等人 2006)來擷取地面資料，本研究於清除地面資料的方法，在預先處理步驟後，大約濾除 65%(16431 個點)原始資料點。

#### 3.2 物件分割

在預先處理階段中，有效擷取不要區域的範圍數值。一旦完成後，將合成影像分割成物件。

物件分割法(Xiang 與 Wang 2004)可分類成邊界法與區域法，其中邊界法依不連續性(像素差)來辨識邊緣，而且連接邊緣來產生各別物件的封閉邊緣(Lin 與 Talbot 2001)。不過，其應用性受到不易找物件完整邊緣資料的事實限制，尤其在雜訊過多的影像中(Ikeuchi 1987)。區域法採用有雜訊的影像，並且區別符合預設同質條件的協調區域，然後使用這些協調區域來辨識所要的物件(Kelkar 與 Gupta 2008)。在本文中，我們採用主要區域法所用的其中一種方法為分併分割法(Lin 與 Tallbot 2001)，此法具有簡單使用與結合影像分併區域之運算效率(Salih 與 Ramli 2001；Sun 與 Du 2004)。

根據分併演算法，物件分割過程由下列兩大步驟所組成：分割與合

併。在第一次分割操作時，分割過程開始先以完整距離影像圖 3(b)當作單一區域 R。如果 R 屬於不同質，將其分割成四大子區域，尤其四個大小相同的矩形。此過程迴歸重複，直到所有子區域均為同質。因為分割過程可能分割成同質區域，所以合併過程用來測試鄰近區域的同質性，若為同質將其合併成單一區域。透過物件分割過程，成功的分割成四個物件。

### 3.3 模型形成

在物件分割過程中，成功將物件特徵點分割並分成四個物件。根據每個物件的特徵點，利用的凸體演算法，將各物件點連接來形成 3D 模型，本文所用凸體演算法採用 Barber 等人 (1996)開發的增量演算法；因為表示 3D 物件的空間形狀可用來形成連接模型既輕薄、快速且有效率，所以非常適合快速 3D 物件塑模(Kim 等人 2006)。

在現有的情況下，場景左側有兩個物件，其一部份受到另一個物件阻擋。此外，在其它的情況下，因為場景或幾何形狀的限制，所以可能無法擷取完整場景的影像 (Neugebauer 1997；Mure-Dubois 與 Hugli 2008)。因此，從不同位置擷取 3D 的補充資料，並且將其分割成不同物件，然後將不同位置擷取的資料集連同座標系記錄。在本文中，採用 Besel 與

McKay(Besel 與 McKay 1992)所開發的 ICP 演算法，其設計自由表面用，自動將 3D 資料集與另一資料集的最近點配對(Allen 等人 2003)。透過此過程，在第一次資料擷取下就會形成完整的 3D 模型。

## 5. 結論

本研究提出快速且有效率的 3D 物件辨識與塑模系統，作為營造機具之自動化。閃爍式雷射雷達被證明能夠一種以工地場景的距離影像方式即時擷取空間資料之方法，所提出的資料處理方法，包含預先處理、物件分割與模型形成，採用不同的演算法來辨識所擷取資料的場景物件，然後自動形成 3D 模型。此外，對所提出的物件辨識與塑模系統驗證有效性，室外實驗結果示範只有幾秒鐘，即可以提出的方法來形成 3D 模型，因而近乎即時方式用於工地物件自動辨識與塑模。

使用這類方法便於重型機具操作安全又有效率，不僅提供場景 3D 圖形，而且還能夠對現行工地的情況進行空間分析。

雖然所提出的塑模法只運用於本文的靜態物件塑模，但是我們預期可用於動態物件的塑模。此外，所提出的方法似乎可用於重型機具控制系統之一部份。

## 附錄八

### 2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化與機器人應用

#### 以小波分析開發牆面瓷磚剝落之自動化檢查機器人與診斷方法

F. Inoue<sup>1</sup>, S. Doi<sup>1</sup>, T. Okada<sup>2</sup>, and Y. Ohta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technical Research Institute, Obayashi Corporation, 4-640 Simonkiyoto, Kiyse-shi, Tokyo, 204-8588, Japan, PH (+81)-42-495-1275, FAX (+81)-42-495-0940, inoue.fumihiro@obayashi.co.jp

<sup>2</sup>Department of Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-5678, Japan, PH (+81)-3-5286-3267, FAX (+81)-3-5286-3267, yutaka@waseda.jp

#### 摘要

本文說明開發牆面瓷磚剝落之自動化檢查機器人與新診斷方法，機器人沿著垂直牆面快速移動，並且利用錘擊聲波偵測瓷磚內部狀態。瓷磚剝落通常有外在的剝落物出現，造成瓷磚與灰漿混凝土和內部的剝落物產生剝落，即建材與灰漿混凝土之間出現空隙。為了利用錘擊聲波偵測這兩種情況，我們著重在小波分析，讓我們能夠分析聲波頻率。藉由比較以瓷磚破損特性表示的小波音率，建立這兩種剝落物模式的分辨方法，自動化機器人與診斷方法對牆面瓷磚進行快速且準確檢查。

#### 1. 介紹

具耐用、防火、防水且裝飾性之瓷磚用於建築物的外部牆面，但許多瓷磚隨著時間與建築物使用改變而造成破損。一般瓷磚破損的徵兆包含剝落、破裂與層離。如果破損情況過久，瓷磚就會破裂並突然大面積掉落，在極端的情況下，嚴重的意外可能會發生。要為了預防這些問題，需要準確地確認破損狀態，並且採用適當的修補方法。熟練的作業人員利用錘擊聲波，就能檢查外部牆面瓷磚，但高空持續作業進行一段時間時，因害怕而降低判斷造成診斷發生變化。

日本於 1975 年後經濟快速成長，在都會區建築超過十萬棟建築物。經過三十年後，瓷磚破損的徵兆開始出現，交通建設部在 2008 年修改關於外部牆面瓷磚安全性能之日本建築物標準法，針對建造超過十年的建築物牆面瓷磚要求進行安全檢查。

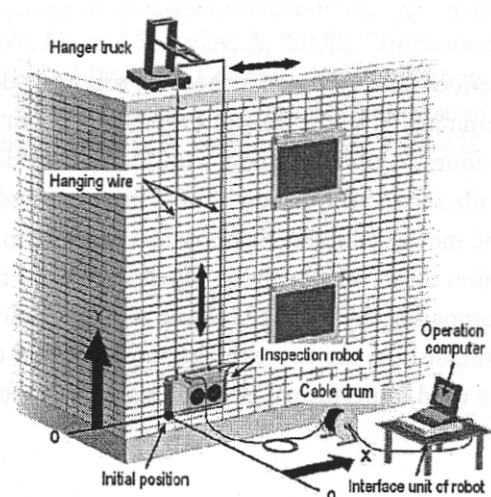
我們大約花費十年時間研究數種診斷方法，作為瓷磚檢查技術的標準，並且開發數種檢查機器人，最後用於現行的機器人系統。機器人具有輕巧的外形，對瓷磚破損有不錯的檢查結果(Inoue, F., 與 Ohta, Y. (2004))。不過，對於診斷方法來說，偵測瓷磚剝落物的聲波參數可由實驗搭配數學函數來求得，並且用來診斷瓷磚破損的徵兆。這些方法雖求得簡單的牆面瓷磚剝落破損模式，但無法求得內部混凝土層的複合瓷磚剝落破損，因而造成嚴重的意外。此外，對熟練的作業人員來說，依其感覺來分辨內外瓷磚剝落是非常困難。

本研究採用檢查機器人、實際應用與新診斷方法，以小波分析對複合瓷磚破損進行研究，並對這些效應詳細說明。

#### 2. 開發自動化檢查機器人

## 2.1 運用自動化機器人之檢查系統概述

圖一顯示瓷磚檢查系統圖，其採用自動化機器人，而非熟練的作業人員。檢查機器人沿著建築物表面的瓷磚移動，以吊車的兩條纜線懸掛，而且其感測器檢查不同的瓷磚破損模式。機器人可以利用捲放這些線來垂直移動，並且移動吊車來水平移動。在實際的檢查下，機器人停在每面瓷磚一小段時間，瓷磚破損情況由分析錘擊聲波與觀察攝影機資料來檢查，診斷結果即時顯示在地面的電腦螢幕上。除了少許手動操作之外，所有瓷磚測試與結果記錄均自動進行。



圖一 運用自動化機器人之檢查系統示意圖

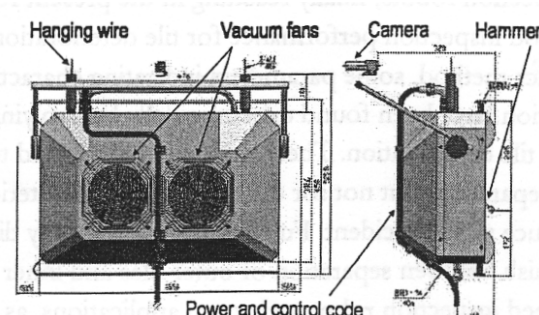
## 2.2 檢查機器人結構

檢查機器人圖形與規格分別如圖二和表 1 所示，機器人本身由四個部份所組成：捲線器、真空風扇、檢查感測器與操控分析器。操作捲線器時，機器人垂直位在所要的位置上，兩條纜線轉到機器人的旋轉桶。機器人能夠在 40 公尺高以每分鐘三公尺到五公尺速度上下爬動，真空風扇用來讓機器人機身緊貼在瓷磚面上，推力

超過 15N，機器人機身在風吹時夠穩定。檢查感測器由機械錘與移動滑軌所組成，其中錘可以移動到每個瓷磚大小 450mm 以內的位置，並且能夠電動控制。撞擊聲波以裝設在撞擊點附近的小型麥克風量測，機器人機身的總重大約 30 公斤，即使操作人員不熟悉或對瓷磚檢查沒有經驗，也能夠進行操作。

表 1 檢查機器人規格

|       |       |                      |
|-------|-------|----------------------|
| 檢查機器人 | 外觀尺寸  | W780×L526×H250       |
|       | 重量    | 30 公斤                |
|       | 電源    | AC 110V              |
|       | 錘滑道寬度 | 450 mm               |
|       | 爬速    | 每分鐘 3-5 公尺           |
|       | 推力    | 15 N                 |
|       | 風扇電源  | 100W×2 組             |
|       | 量測力   | 每天 450m <sup>2</sup> |
|       | 線長    | 40 m                 |
| 吊車    | 外觀尺寸  | W1500×L1500×H500     |
|       | 重量    | 70 公斤                |
|       | 操作方式  | 手動                   |
|       | 吊座重量  | 100 公斤               |
| 操作系統  | 傳動介面  | W310×L260×H50        |
|       | 控制器   | 1 組                  |



圖二 檢查機器人外部尺寸圖

## 2.3 撞擊聲波與傳統診斷法之分析

檢查機器人採用數學函數的兩個分析參數，以表示瓷磚剝落物之特性(Inoue, F.,與 Ohta, Y. (2006))。量測撞擊聲波到計算每個參數之時間相當短，

使得能夠即時診斷瓷磚破損結果，參數如下。

(1) 峰值速率：Cf

此參數等於波高值，也就是最大振幅  $X_{max}$  除以時間波形有效值  $X_{rms}$ 。瓷磚剝落時，此值就會變大。

$$Cf = X_{max}/X_{rms} \cdots \cdots (1)$$

(2) 頻率交互影響值： $x, y$

此參數表示每塊瓷磚與正常瓷磚

的聲波之間頻率交互影響，瓷磚剝落時與正常瓷磚的自相關降低，此值就會變小。 $N$  為資料筆數， $X$  與  $Y$  分別為測試瓷磚與正常瓷磚的聲波，與分別為  $X$  和  $Y$  的平均值與標準偏差值。

## 附錄九

### 2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－自動化資料擷取與監控

#### 營造位置計算之資料整合模型

S. N. Razavi<sup>1</sup>, and C. T. Hass<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, 200 University Ave. W., Waterloo, ON, N2L 2V3; PH (519) 888-4567 Ext. 33929; FAX (519) 888-43000; Email: snavabza@engmail.uwaterloo.ca

<sup>2</sup>Professor, Director of the Centre for Pavement and Transportation Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, 200 University Ave. W., Waterloo, ON, N2L 2V3; PH (519) 888-4567 Ext. 35492; FAX (519) 888-43000; Email: chaas@civmail.uwaterloo.ca

#### 摘要

物料追蹤是營造建材管理系統之關鍵要素。在實際工地中，近年來不論技術與經濟上，採用合乎成本效益、具規模性與便於實施建材位置感測系統變得非常可行，顯然現行系統的缺點就是缺乏準確性與強健性。

在本文中，資料整合模型用於自動辨識與營造建材、機具和工具位置計算之整合解決方案。資料整合預期增加信賴度、達到較佳位置計算與添加操作強健性，所提出的模型係指修正功能資料整合模型，作為營造資源位置計算用，並且係屬美國聯合實驗室(JDL)模型。本文運用整合模型來說明工地現場測試資料之初步與預期結果。

#### 1. 介紹

物料追蹤是營造建材管理系統之關鍵要素。營造建材無法在正確地方與時間使用會大幅影響生產力，降低建材搜尋失敗有助於減少監督時間、人員閒置，並且縮短規劃時間。相反地，瞭解建材流程有助於增加作業生產力、減少建材堆積並降低建材管理人力。

剛開始進行建材追蹤自動化時，Caldas 等人(2006)採用 GPS 與手持式 GIS 繪圖法，在有些情況下不但節省時間與減少建材損壞。因此，開發具較複雜且自動化的無線感測器網路與資料擷取技術之 GPS 和 RFID(射頻辨識系統)，作為不同的應用。近年來的研究搭配筆記型電腦、資料擷取技術與

感測器，在實際工地中，以提供合乎成本效益、具規模性與便於實施建材位置感測系統(Akinci 2002; Song 2006a; Caldas 2006; Grau 2007, teizer 2007)，顯然現行系統的缺點就是缺乏準確性與強健性。

為了說明這些問題，本文採用整合解決方案架構，作為大型營造專案之營造建材、機具和工具自動辨識與位置，此架構之關鍵要素特別是位置計算問題。因此，開發位置計算資料整合法不僅具有合理的實施成本，而且對雜訊量測相當有利。整合不同位置資料來源預期增加信賴度、達到較佳位置計算與添加操作強健性。

在此架構下，從簡單到複雜的感測器均可使用，像 RFID 轉換器、GPS 接收機、RFID 讀卡機、含 GPS 晶片之

RFID、超音波、紅外線與其它方式。假設感測器組記錄有優先位置資料，這是因為搭配 GPS 接收機、GPS 晶片或裝設於已知座標的固定點使用。

不論感測器組的優先位置資料是否符合，每個感測器節點費用平均比計算位置資料還要貴一倍到兩倍。例如，許多幾何解對追蹤項目既準確又即時，但是超過這裡說明的問題解決費用。此外，甚至複雜又昂貴的解決方案對環境造成某些程度的影響，所以開發位置計算資料整合法不僅具有合理的實施成本，而且對雜訊量測相當有利。

本文分成下列章節，在下一節裡概述說明資料整合概念與模型，以提供讀者一些背景資料。然後提出營造位置計算之資料整合模型，現場實驗資料於下一節裡提出。本文運用整合模型來說明工地現場測試資料之初步與預期結果。

## 背景

### 資料整合

資料整合就是一種結合資料或資訊來計算整體狀態之過程，通常整體狀態被當作實體狀態，像本體、位置、行動與其它，其中人腦就是最佳資料整合機器之範例。

功能、過程與標準模型為三大資料整合類型(Steinberg 2001)；功能模型可以顯示基本功能、相關資料庫與要素之間的互連性，但不會顯示系統內部的過程流程，這表示功能資料整合階層不需依序進行。美國聯合實驗室(JDL)模型就是功能模型之範例，研究人員可以開發自己的模型或採用其中一個現有模型，資料整合提供許多定量與定性的好處。

### 建築物資料塑模(BIM)

建築物資料塑模(BIM)是一種以數位虛擬方式設計、營造與機具管理之方法，模型包含準確的幾何性、時空關係、3D 地理資訊、建築物構件的數量與屬性，以支援建築物生命週期的營造、製造、採購與塑模(Eastman 2008)。建築物資料塑模(BIM)也能跟成本與時程控制和其它管理功能整合，用來示範整個建築物生命週期，包含建築物所有階層與資訊分享方法，讓建築師、工程師與營造專家之間的溝通更加方便(Elvin 2007)，通常以標準形式來實施，而且跟 BrIM(橋接資訊)與其它模型有關。

### 營造位置計算之多階資料整合模型

#### 模型架構

圖一說明修正功能資料整合模型，作為營造資源位置計算用，係屬美國聯合實驗室(JDL)模型，因為係屬資料整合功能分類之最常用系統。前兩個階層稱為低階資料整合，後兩個階層稱為轉換過程。在下圖中，針對資料整合階層之間的架構、資料流程與相互關係進行說明。

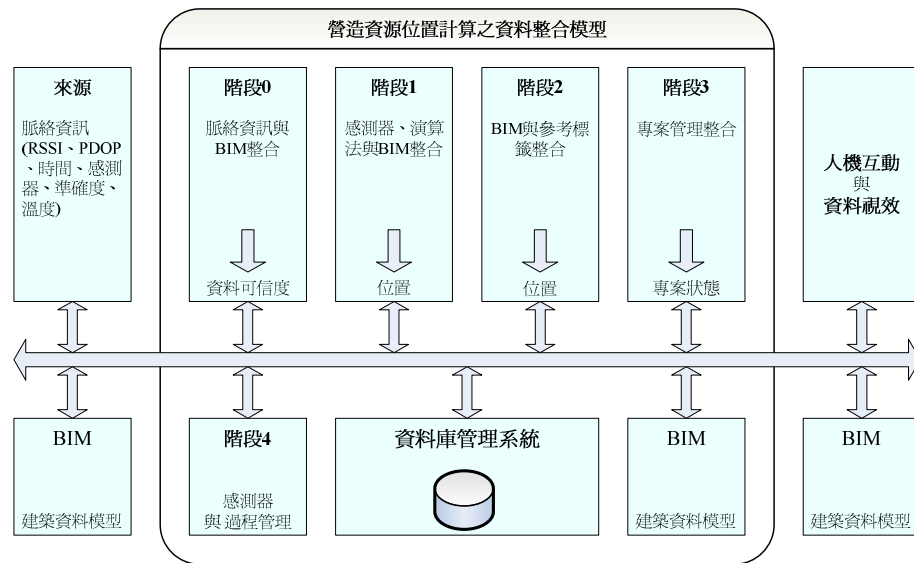
此模型之資料來源包含：

- 不同感測器
- 不同位置計算演算法
- 情況
  - 接收的信號強度指示器(RSSI)
  - 位置準確度降低(PDOP)
  - 時間
  - BIM
    - ：現場地圖/配置圖
    - ：3D 模型
    - ：環境狀態
    - ：時程(非本文之範圍)
    - ：完工階段(非本文之範圍)



：採購(非本文之範圍)

模糊推斷系統用於此整合階層，



並且依可用性來使用資料。此模糊系統需要對新的感測器重新進行設定，關於RFID與GPS感測器，(Razavi 2008)在此模糊階層0裡

圖一 營造資源位置計算之資料整合模型

### 資料整合階層 0

感測器資料可靠度評估屬於階層0。換言之，我們要感測器整合系統採用結合機制，使得不同感測器能夠“正確”有助於資訊空間的“結果”，“結果”表示此整合度輸出，“正確”表示所建立的資訊信賴度、可靠度或有效性。

採用位置感測技術，像 RFID、GPS、超音波、紅外線與其它方式，提供現場建材位置的粗略評估，這種方式被視為“讀取”事件或位置觀察。在此階層中，根據觀察時之感測器可靠度與準確度和其它可用資訊或 BIM 資訊，因而著重於找尋此位置觀察的信賴度。

不同的感測器具有不同的準確度與可靠度因素而彼此不同，對於適合的感測器組合並無簡單的解決方案。結合感測器資訊與現場配置可用的資訊，有助於取得所觀察的位置資料信賴度。因為有些資料並無法隨時或現場取得，所以將此資訊用於解決方案。

詳細說明。

模糊推斷系統有助於更準確定義觀察有效性或“信賴度”。就這方面，觀察值不再是有效或無效的問題，而是有效或無效範圍的信賴度 (Caron 2004)。

換言之，所觀察位置的信賴度就是此模糊推斷系統的輸出，可用來評量這裡說明架構的下一整合階層。

### 資料整合階層 1

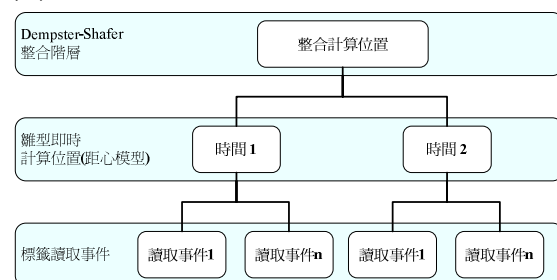
資料整合階層 1 評估營造資源的位置，係採用不同的讀取方式、感測器與位置感測演算法。整合不同演算法來取得更強健的位置計算也包含在此階層內，不同現場配置與建材供應商亦能整合在此階層。Dempster-Shafer 原理稱為“信賴度原理”、“可信度原理”或“證據原理”，係指此階層所用之基本方法。

在現有的方法中，RFID 讀卡機讀取標籤時，結合 GPS/RFID 資料來提供標籤位置的資訊。由於周圍環境造成 RFID 讀取範圍不確定性，因此可由基本信賴度來塑模。為解決這種不確定性，GPS/RFID 感測器組被指定為不同

的信賴度，使得所有的信賴度總和等於 1。

在最簡單的情況下，由於環境與其它因素，所以 GPS 與 RFID 對每個“讀取”事件有不同的可靠度。因此，不同讀取事件可視為獨立觀察事件，可由 Dempster-Shafer 原理來整合。

在此整合階層中，RFID-GPS 雛型系統的輸出當作 Dempster-Shafer 演算法的輸入。雛型系統的輸出依每個標籤的讀取事件來計算標籤位置，這些位置以距心模型來計算，下圖說明標籤讀取事件、雛型系統計算位置與 Dempster-Shafer 整合計算之架構關係圖。



圖二 讀取事件、計算位置與 Dempster-Shafer 整合計算之架構關係圖

## 資料整合階層 2

此階層利用整合資源位置資訊(階層 1 輸出)、資訊、整合式 BIM 與/或其它感測器資料-LADAR、超音波或 3D 雷射掃描儀來評估狀態，可依此階層的結果來擷取不同營造資源與現場配置、完工階層與時程之間關係，此整合階層形成構件與建築物生命週期的空間/時間關係。

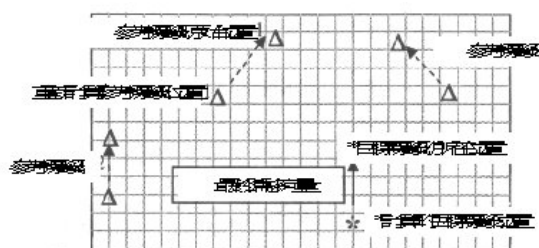
整合階層 2 係指推論關係之評估，取決於所用建材定位法的資訊，不同的解決方案與技術可在此整合階層正常使用。對於我們提出的方法，界標用來評估準確度並修正目標標籤

的計算位置，使用參考標籤的想法在此整合階層屬可行，就像有些界標調整目標標籤的計算位置。

在此架構下，於工地的固定與已知地方裝設 RFID 轉換器，能夠提升目標標籤整合階層 1 的計算位置準確。

因為讀卡機收集目標標籤的資料並透過階層 0 和階層 1 整合步驟計算位置，所以同時也擷取參考標籤資料並計算位置。

基本構想就是使用參考點預設位置與計算位置之間的差向量，而且將此向量偏移新計算的目標標籤位置。如果架構裡使用一個以上的參考標籤，準確度就會提升，所有參考標籤的偏移向量相加形成最終合成偏移向量(圖 3)。



圖三 利用數個參考標籤調整位置

## 資料整合階層 3、4 與人機互動

階層 3 評估專案狀態，此階層涉及專案管理系統整合，非本文之範圍。透過持續監控和評估感測器與其過程，階層 4 改善整合結果，我們也可以在此階層評估是否需要額外的資訊或感測器，感測器校正或過程修改之需要也在此階層進行評估。此外，人機互動也能夠以資料視效與導航模組來概述。

## 現場試車

進行現場試車取得實驗資料，不僅驗證資料整合模型有效性，而且還證明使用構件、方法與研發技術之可

行性，對多倫多地區的大型營造專案進行現場試車。RFID-GPS 位置計算雛型系統用來進行一系列的 375 個標籤實驗，以測試工地與供應鏈的關鍵構件追蹤與尋找之可行性。

測試模型的資料包含每個標籤座標，自從 2007 年 8 月起將 RFID 用於工地，然後每天記錄超過五個月。資料量等於 100 天的記錄資料乘以現場每天平均 100 個標籤，再乘以每天每個標籤讀取十二次(Razavi 2008)。

每天位置資料以.kml 格式儲存，能夠以 Google Earth 地圖環境來觀看位置資訊。現場 AutoCAD 圖覆蓋在 Google Earth 空照圖上，提供現場位置的參考路標。

地圖以不同比例建立，便於現場作業人員觀看圖形，圖四顯示標籤項目與樣品地圖。

### 初步結果

大約有一萬個標籤位置的資料，代表現場每個標籤平均有 100 筆位置計算值，本節說明樣品資料集之現場倉庫個案研究。本文所用的資料集，由 GPS 讀卡機連四天每天三次記錄 109 個標籤位置的資料，下圖表示實際標籤位置對讀取資料距離之分佈。



圖四 樣品地圖，包含 RFID 標籤位置(上)與樣品標籤項目(下)

RFID 讀取率有時從每分鐘讀取一個標籤數十次，到數小時沒有讀取標籤。即時整合兩種演算法之個案研究 - Dempster Shafer 與 Centroid - 能夠更加準確計算位置。在此個案研究中，以代表實施模型的整合階層 1 之整合演算法，對 RFID 標籤連續進行八次讀取事件。最後的計算位置在深黑區的中央，以對應最高出現機率。

### 結論與後續研究

我們提出一個功能模型，作為營造專案 RFID 標籤位置的資料整合。對兩個感測器、GPS、RFID、兩種演算法、Dempster-Shafer 與 Centroid 整合進行研究，以評估整合階層 1 的位置。此外，還對此提出初步結果。

在不久的將來，提出深入的研究結果報告。所遭遇的挑戰包含整合簡單到複雜的感測器資料、內容資訊，以適當的次數與具規模性的方式計算上萬個物件位置。預期階層 0 與階層 1 的整合對雜訊量測相當有用，而且有助於未來技術的進步。

## 附錄十

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－資訊與運算科技

### 服務導向的下一代智慧型營建供應鏈管理整合資訊架構

Seong-Ah Kim<sup>1</sup>, Sangyoon Chin<sup>2</sup>, Su-Won Yoon<sup>3</sup>, Tae-Hong Shin<sup>4</sup>, Yea-Sang Kim<sup>5</sup>  
and Cheolho. Choi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: Kody25@skku.edu

<sup>2</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: schin@skku.edu (Corresponding Author)

<sup>3</sup>Doalltech Co., Ltd, DMC Hi-Tech Industry Center 1580, Sangam-Dong, Mapo-Gu, Seoul, Korea 121-835; PH (82)2-555-9779; FAX (82)2-5555-886; e-mail: yoonsuwon@doalltech.com

<sup>4</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: cmcic@skku.edu

<sup>5</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: yeakim@skku.edu

<sup>6</sup> Doalltech Co., Ltd, DMC Hi-Tech Industry Center 1580, Sangam-Dong, Mapo-Gu, Seoul, Korea 121-835; PH (82)2-555-9779; FAX (82)2-5555-886; e-mail: choi@doalltech.com

#### 摘要

在大型營造專案中，必須有效進行營建供應鏈管理。自從 2006 年起，本研究針對命名為下一世代智慧型營建供應鏈管理(NICS)之專案進行研究，係利用普及感測網路(USN)與射頻辨識(RFID)技術來開發一套能夠即時支援營造供應鏈管理的過程和系統。在此專案中，‘下一世代’表示採用 USN/RFID 技術來改善現有營建供應鏈管理過程，而‘智慧型’則表示設備像棧板、拖車、起重機與閘門不僅能夠辨識所運載的構件或建材，而且還能透過 USN/RFID 與其它設備或行動裝置進行通訊。此文著重於建造一種資訊架構，能夠即時支援不同承攬商與供應商所用系統以及設備與行動裝置之間的資訊分享與交換。在沒有資訊架構下，營建供應鏈相關的資訊無法在 NICS 環境下有效且有效率被管理。在物流產業中，許多研究人員認為鬆散結合式服務導向架構(SOA)之系統架構可能是解決方案，即提供可擴充性和多樣性，作為不同系統與地理分散資訊系統之間的資訊交換和分享。根據 SOA 構想，此文之目標在於開發一種資訊整合架構與系統以支援 NICS 環境，其中採用 USN/RFID 技術。此外，本文說明服務辨識與資訊模型，作為開發 SOA 之 NICS 環境用，並且包含雛型系統開發。

**關鍵字：**資訊管理、SOA(服務導向建築)、供應鏈管理、物流、資訊科技、營造管理

## 介紹

由於現在營建業企圖建造高樓大廈，因此採用許多新方法確保有效的營建管理，包含採用新管理技術與資訊科技。因此，有效率的營造超高建築物之物流管理被視為一項讓專案成功的必要因素。確認這些重要性之後，對於自動化物流管理已進行許多研究，其涉及物流管理變化(例如 JIT、SCM)與採用尖端資訊技術，像條碼線與 RFID(Chin 等人 2005；Jaselski 2003)。

近年來，營建業的物流管理捨棄過去的工地運送與發行管理方法，而採用涵蓋整個供應鏈的系統，包含建材、生產、發行、運送、吊掛/重型機具處理、置放與安裝。管理範圍的擴充需求所有專案參與人員，包含供應商，以採用新環境，讓所有人員以即時方式分享與共同管理必要的資料確保成功運作，如此跟傳統工地或承攬商為主的資訊處理系統(Chin 等人 2008)不同。儘管採用先進技術，但供應鏈資訊管理方法仍相當多取決於人工作業，因資訊流程與可靠度資訊的錯誤而導致資訊遺漏或錯誤。其他採用條碼線、RFID 與資訊裝置的供應鏈管理問題包含蒐集和使用相關資訊困難，因為：(a)承攬商、轉包商與供應商之間的資訊化等級差異；以及(b)對資訊系統沒有清楚瞭解或處理這類系統沒有經驗。

資訊科技正持續進步，提供不同的技術與可能性。普及感測網路(USN)特別更帶往接近使用者，因此提供營建業資訊蒐集與管理機會。

自從 2006 年起，本文針對命名為下一代智慧型營建供應鏈管理

(NICS)之專案進行研究，係利用普及感測網路(USN)與射頻辨識(RFID)技術來開發一套能夠即時支援營造供應鏈管理的過程和系統，專案之目標在於解決與技術演進、資訊蒐集錯誤、專案參與人員所顯示的資訊化差異和完整資訊蒐集的其它作業相關之問題。在此專案中，‘下一世代’表示採用 USN/RFID 技術來改善現有營建供應鏈管理過程，而‘智慧型’則表示設備像棧板、拖車、起重機與閘門不僅能夠辨識所運載的構件或建材，而且還能透過 USN/RFID 與其它設備或行動裝置進行通訊。換言之，NICS 專案原本要建立一種智慧型營建供應鏈管理(CSCM)環境，其中只當作 CSCM 過程運輸建材車輛的機具賦與智慧性，不僅能夠辨識建材資訊，而且還能透過無線網路傳送與分享其他機具的資訊。例如，像塑膠板的建材在工廠裡製造與包裝後，智慧型棧板紀錄有建材的名稱，以便於裝置發行。然後棧板讀取 RFID 標籤並自動辨識資訊。為了發行資訊載入棧板的建材，則採用智慧型拖車的方法，再由 Zigbee 通訊能夠辨識所要運載的建材，並且驗證運載的裝置是否正確。此外，智慧型拖車接近閘門感測器時，裝置會判斷是否為規劃的發行建材。

如上述說明，作者正開發許多不同用途的機具，像智慧型棧板、智慧型拖車、閘門感測器(Lee 等人 2008)、智慧型起重機與有效搭配自動化 CSCM 環境之系統。為了確保環境的建立，需要進行許多作業，包含機具、系統、機具與機具、機具與伺服器或伺服器與現有系統之間介面的開發。



尤其在考慮非標準化的工業特性時，資訊管理系統或解決方案要求能夠有效與各專案或多方共同承攬計畫進行整合。

因此，本文提出服務導向的整合資訊架構，並藉由完成雛型系統以驗證架構功能。

## 研究方法

本文所提出的服務導向整合資訊架構視為一種完整的資訊管理系統，其中從事人員有效蒐集與分享營建物流管理之前所產生的資訊，就像智慧型機具在採用像 RFID/USN 技術的 CSCM 環境下操作。有問題的系統必須證明有非標準過程的快速變化適應性，並且能夠提供一種整合管理環境，係透過不同機具裝置之間的通訊進行資訊分享，以及建立現有系統的有效率介面。

如上述評論所說，藉由有效結合複雜、異質與地理分散環境來設計資訊管理系統的確是一項挑戰。這項任務的一個解決方案就是服務導向架構(SOA)的概念，而且許多研究已證明，其提供物流業建立整合管理系統之最佳方式。因此，作者運用下列過程有助於開發 NICS 所需的鬆散結合式整合管理環境之架構：

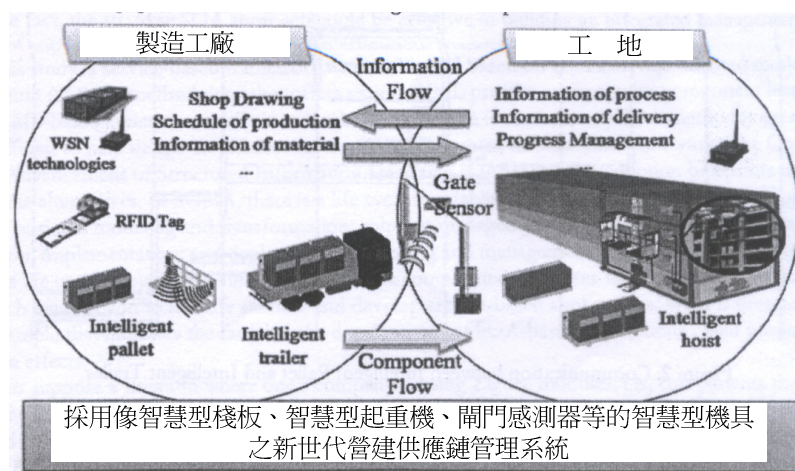
- 根據先前的 NICS 環境分析，對現有研究和 SOA 個案研究進行收集並審查；
- 利用 SOA 所建議的方法，對 NICS 環境進行分析；

- 提出 SOA 導向的 NICS 管理環境；
- 根據確認的服務，對系統運作所需之服務進行組織並設計系統；以及
- 藉由完成雛型系統以驗證 SOA 導向的整合資訊架構。

## NICS 環境

如先前所說明，NCIS 不僅提供未來 CSCM 環境願景，如圖一所示，而且還建立自動化 CSCM 系統，作為結合不同資訊科技設備的 RFID、USN(例如 Zigbee、Wibro、CDMA、Wi-Fi)、行動裝置(例如 PDA、UMPC)、智慧型棧板、智慧型拖車、閘門感測器與智慧型起重機用。至今，雛型機具的開發與彼此之間的通訊測試已全部完成。

圖一 下一代營建供應鏈管理願景 (Lee 等人 2008)



本研究以物件導向 UML 順序圖，設計說明智慧型機具裝置之間的通訊，例如智慧型棧板與智慧型拖車。在審查主要資訊流程圖之後，出現下列過程：(1)裝載到智慧型棧板上的建材(1.裝載建材)；(2)稱重室開始運作(2.確認裝載的重量)；(3)啟動 RFID 標籤讀卡機、Zigbee 與 UMPC；(4) RFID 標籤讀卡機所辨識的 RFID 標籤身份(8.讀取 RFID 標籤)被存入 Zigbee

記憶體(10.將 RFID 標籤身份寫入 Zigbee 記憶體)；(5) RFID 標籤身份透過 RS232C 序列通訊傳送到 UMPC 的 RFID 標籤身份(11.利用 RS232C 轉換 RFID 標籤身份)；(6)傳送的 RFID 標籤身份開始登入物流伺服器以取得詳細的建材資訊，並且顯示在螢幕上；(7)智慧型棧板接近智慧型拖車，Zigbee 進行連線(17. Zigbee 連線)，將儲存在智慧型棧板 Zigbee 記憶體裡的 RFID 標籤資訊傳送到智慧型拖車的 Zigbee，因而讓機具之間能夠進行通訊。如上述的資訊流程說明，由於許多通訊裝置、顯示裝置與伺服器之間缺乏整合性資訊管理系統，因此可能造成資訊保持一致性的困難。要求快速變化回應時，不具鬆散結合式介面導向的系統也可能包含智慧型機具的模組與通訊方法。如果介面設計並非標準規範，時間與成本的議題無可避免地與每一項整合作業一同產生。

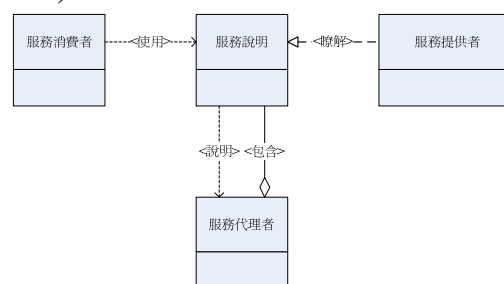
為了解決上述的問題，似乎必須建造 SOA 導向的整合資訊架構，根據介面應該：(a)允許建立有效搭配異質與地理分散式環境之整合系統；以及(b)認證成為國際標準。

### 建造 NICS 環境之 SOA 審查

自從 Gartner 公司在 1996 年 4 月發行標準介面方法後，SOA 已經被定義成資訊科技策略，其包含：(a)網站服務與完整應用程式之架構開發作為服務單元；(b)有助於完成 SOA 之政策；以及(c)規則與分享服務管理。事實上，即使技術上沒有經驗與缺乏標準規範和主要軟體供應商之間的合作，SOA 基本概念卻已用於分散式技術，像通用對象請求代理架構(CORBA)與分散式構件物件模型(DCOM)。

因此，隨著開始使用 XML 導向的網站服務，SOA 正開始受到重視。

圖二顯示以 UML 語言撰寫的 SOA 架構概念模型，圖形由服務消費者、服務提供者與服務代理者所組成，具有標準發票的服務說明之架構功能，為服務提供者透過服務代理者提供給服務消費者的服務(Wikipedia 2008)。



圖三 SOA 架構概念模型

採用 SOA 的最大好處就是顯示重新使用功能以符合標準介面規定/要求，並且只透過服務結合來提供重新使用功能。策略也以軟體概念作為服務，其中軟體程式當作服務，提供相關功能。最近 SOA 正被用來當作架構，有助於確保系統整合，尤其建立裝置之間的介面，或在異質與地理分散式資訊系統下建立整合環境。針對物流業所進行的研究已證明，不同供應鏈與複雜結構之間的有效介面造成過程快速變化回應。根據調查結果，許多測試已完成有助於建造城市時進行複雜系統之協調與整合，先前說明的 NICS 環境由多面分散式環境所組成，其容易受到突然改變或變動所影響。假設重要的 SOA 方法可能有效建造整合管理系統，因而能夠以有效方式來支援環境。

在本文中，服務導向架構依 IBM 服務導向模型與架構(SOA)方式來建立，在服務構件層下，即 UML 系統實體層，提供不同 UML 圖形。所用的方

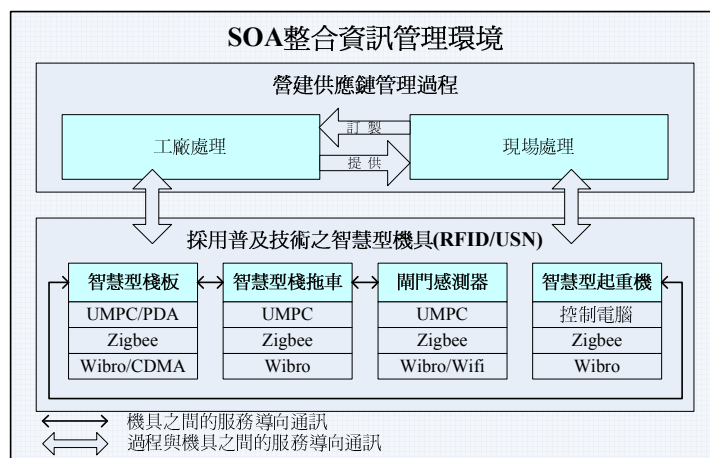
法就是其中一種 SOA 方法，有助於設計有效率的服務導向整合資訊架構，結構資訊標準改善組織(OASIS)也採取 SOA 藍圖作為替代方案。在 SOMA 中，SOA 的生命週期建立透過許多過程像：營運模型與轉換、解決方案管理、辨識、規格、瞭解、實施、裝設監控與管理。即使作者將複雜過程簡化、採用新方式確認服務並開發服務導向的應用程式，但仍符合此生命週期之規定，下列說明表示開發 SOA 導向應用程式產生所要效果之範例。

讓我們假設某人的公司正使用 Zigbee 模組的情況，即機具在 NICS 環境下進行通訊所用的構件，其介面與 A 公司提供的 API 資料庫一同設計。由於性能與成本的關係，無可避免地要使用 B 公司提供的 API 轉換程式。隨著安裝服務導向的應用程式，因而對 Zigbee 模組與編輯過程的修改讓使用者免除機具重新裝設的繁雜過程。只需一次完整更新作業即可完成，提供快速變化回應。相反地，對於使用非服務導向的系統，受到新 Zigbee 模組 API 轉換所影響的每種機具與程式必須重新裝設，造成效率不佳、成本增加與對新系統環境快速變化回應有所困難。

### SOA 導向 NICS 環境之建議

為了瞭解先前說明有效用於智慧型 CSCM 環境之 SOA 概念，即 NICS，必須以整合工廠與工地之間的 CSCM 生命週期方式來設計策略。根據此應用策略，圖三說明 SOA 導向 NICS 環境-服務基礎建設概念範例，由於跟工

廠與工地之間的互動有關，因此將在營建供應鏈管理過程中的智慧型機具與機具通訊介面組織成服務。



圖三 SOA 導向 NICS 環境

### 建立 SOA 導向 NICS 環境之服務設計

服務，即為 SOA 導向環境的核心構件，定義成重新使用服務，並且是執行鬆散結合式介面功能之最小單元。因此，建造 SOA 導向架構的問題就是如何讓服務順利從系統中擷取。

為了回答本文所提出的問題，即設計通用於智慧型 CSCM 環境之服務，作者：(a)分析智慧型機具在 NICS 環境下活動與運作的過程；(b)確認支援過程的功能；以及(c)進行功能分類，將相似特性分類在”同區”。因此，依據上述過程所定義之服務以 UML 構件圖方式來表示服務構件模型，模型係由”構件”、”輸入輸入端”與”介面”所組成，其中包含”相關性”表示構件之間的連接或關係。

總共有 25 種服務，其中的 11 種分成同一類，再看看每一類，主要特性總結如下：Code Mgmt Service Partition 管理 NICS 運作代碼；Planning Service Partition 管理與建材供應鏈相關的時程軟體程式(例如 primavera、



msproject)、PMIS/ERP 和介面；Order Service Partition 支援建材訂購過程；Delivery Service Partition 處理建材運輸與開立電子發票；Quality Service Partition 支援工廠與工地品質測試；Progress Service Partition 有助於辨識智慧型機具之使用狀態與過程；Notification Service Partition 支援 RS232C 序列通訊、RFID 標籤與 Zigbee 記憶流資料之讀取/寫入；Binary Data Transfer Service Partition 支援將閘門感測器的網路攝影機擷取之影像傳送到伺服器；以及 Verification Service Partition 有助於確認進出閘門感測器的拖車與建材發行/交送狀態，以證實載運建材的智慧型起重機與棧板是否移至所規劃的位置。系統實際用於營造工地時，應該參考以”I”開始的標題介面。

### SOA 導向 NICS 雛型系統

在本文中，開發雛型系統有助於證明所確認的服務整合資訊架構能夠有效支援 NICS 環境。對於雛型系統架構，進行 OASIS 的 SOA-RM(參考模型)、IBM 的 SOA 參考架構與 Microsoft 的 SOA 參考架構審查，以建立有層次的架構，以適合 NICS 環境特性。

雛型系統採用 .NET Framework 3.5 以上之 Windows Communication Foundation (WCF) 以提供核心服務，並且有效實施以”C#”指示碼服務處理的環境。服務導向的應用程式，其結合並建立確認的服務以及 NICS 環境所用的智慧型拖車與棧板，透過服務結合建造成為重新使用服務與 NICS 運作所需之功能。

透過建立雛型系統的過程，作者成功驗證有效率介面(例如 NICs)之服務係屬快速變化回應模型，其設計有助於複雜分散式環境的 CSCM 使用，適合鬆散結合式環境所支援的不同環境變化(因素)，使得服務有效支援日後 CSCM 環境用。

### 結論

此文建議採用 SOA 導向系統，不僅有助於營建機具與採用 RFID/USN 技術的 NICS 專案系統之間建立一個有效資訊管理環境，而且還開發適合建議環境之服務與雛型系統。為了建立有效率的整合資訊架構，因而採用 IBM 的 SOMA 方法，有助於確認總共 25 項服務，其分類為服務構件模型。其次，利用 OASIS 的 SOA-RM(參考模型)、IBM 的 SOA 參考架構與 Microsoft 的 SOA 參考架構設計有層次導向的系統架構。

所提出的 SOA 導向系統環境設計採用 .NET Framework 3.5 以上之 Windows Communication Foundation (WCF)，其有效支援服務主機與服務處理，並且開發雛型系統來判斷本文所建議的服務模型與概念設計是否適用實際的環境。此外，作者驗證所提出的服務導向資訊架構係屬有效之架構，能夠快速適應在像 NICS 異質與地理分散式資訊系統變化的 CSCM 環境。

本文結果不僅用來日後建立所有 NICS 作為系統核心架構，而且還有助於定義與實施智慧型 CSCM 環境所需的的不同功能形式之重新使用服務。

## 附錄十一

2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－資訊與運算科技

### 建築內部自動化建築資訊模型系統以改善建築資訊系統導向的數量抓取效率

Seong-Ah Kim<sup>1</sup>, Sangyoon Chin<sup>2</sup>, Su-Won Yoon<sup>3</sup>, Tae-Hong Shin<sup>4</sup>, Yea-Sang Kim<sup>5</sup>  
and Cheolho. Choi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: Kody25@skku.edu

<sup>2</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: schin@skku.edu (Corresponding Author)

<sup>3</sup>Doalltech Co., Ltd, DMC Hi-Tech Industry Center 1580, Sangam-Dong, Mapo-Gu, Seoul, Korea 121-835; PH (82)2-555-9779; FAX (82)2-5555-886; e-mail: yoonsuwon@doalltech.com

<sup>4</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: cmcic@skku.edu

<sup>5</sup>Dept. of Civil, Architectural, and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ, Suwon 400-746, S. Korea; PH (82)31-290-7578; FAX (82)31-290-7570; e-mail: yeakim@skku.edu

<sup>6</sup> Doalltech Co., Ltd, DMC Hi-Tech Industry Center 1580, Sangam-Dong, Mapo-Gu, Seoul, Korea 121-835; PH (82)2-555-9779; FAX (82)2-5555-886; e-mail: choi@doalltech.com

#### 摘要

近年來，建築資訊塑模(BIM)已廣泛用於管理建築資訊，讓專案生命週期更有效率。特別在數量抓取與計算，BIM 過程越來越受到重視，甚至 BIM 數量抓取也在南韓的建築專案裡進行。這些專案的從事人員指出，建築內部塑模佔了塑模過程大部份的時間，建築內部手動塑模容易發生錯誤，可能造成嚴重錯誤結果，像成本計算錯誤與爭議。為了解決問題，本文提出自動化塑模法，是依房間或空間選擇建築內部法後，就會自動建築內部塑模。此外，本文也開發建築內部塑模法與系統，在使用者選擇建築內部的特定空間或房間類型後，即可自動建立建築內部構件模型。因此，本文不僅確認南韓典型建築物與房屋內部類型，而且還開發支援典型與非典型建築內部塑模之裝置，讓選擇建築內部建材、構件與營造過程具多樣性。建築內部自動化塑模系統不僅已初步通過建築專案測試，而且發現系統能夠快速改善 BIM 數量抓取與計算過程之生產力。

**關鍵字：**建築資訊塑模(BIM)、三維 CAD 模型、數量抓取

#### 1. 介紹

由於建築資訊塑模(BIM)近年來已普遍使用，所以市面上出現許多不同領域用的三維電腦輔助設計(CAD)

商用程式，像設計、結構、設備、施工與計算，特別是能夠從 3D 模型自動數量抓取的應用程式。因此，使用許

多南韓營建專案應用程式，已可就 BIM 進行數量抓取與計算。再者，就數量準確度與實際使用 3D 模型而言，一般認為 3D 計算應用程式比 2D 還要好。不過，專案從事人員發現，即使專案仍正進行中，但 BIM 計算過程仍需要改進。其中一個需要改善的因素就是，進行建築內部塑模以計算準確的建材數量時，在建築最後階段所用的建材塑模時間過長。

現今南韓營造專案圖採用 2D 圖，因此必須從 2D 圖產生 3D 模型，作為 3D 數量抓取。再者，觀察到 3D 計算總工時比使用舊計算系統還要長兩倍的時間，因為 3D 塑模像計算一樣花費較長時間。此外，還發現到有效塑模法相當關鍵，因為建築內部塑模採用許多建材，所以佔了 90% 總時數。就南韓來說，計算就需要快速回應與符合 3D 塑模要求；否則，對要使用 3D 塑模的國家造成限制。

因此，本文建議一種以自動化改善生產力的方式，即使塑模過程涉及許多建材，但還是能夠解決總工時增加的問題。

### **3D 模型數量抓取特性**

3D 數量抓取表示數量資料的擷取，像 3D CAD 模型數量相關的長度、大小與體積和資料連接。根據基本假設，建材先應產生 3D 模型或物件，因為沒有 3D 模型就無法擷取數量資訊。

在詳細的計算階段中，要取得實際營造專案最準確的數量，各種建材的數量要準確計算。為了計算 3D 數量抓取率，必須產生每種建材 3D 模型的塑模過程。除了小型供應品 3D 塑模之外，像釘子與螺絲，大型建材必須根據要求進行塑模，使得連接相關建材

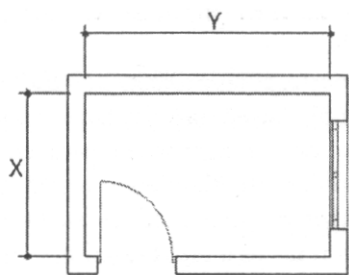
的數量能夠量測。

設計階段的 3D 模型包含必要構件，以決定房間與建築外部。不過，此階段沒有涉及處理建築內部建材是相當常見的。此外，對於數量抓取之量測，因為在數量抓取的 3D 模型與建築設計之間許多差異，所以採用設計階段的完成模型並不可行。因此，採用設計階段的 3D 模型而不需進行任何變更。然而，在計算小量建材的階段並無法實行，並且需要塑模便於準確量測數量抓取。

### **營造完工之 3D 數量抓取限制**

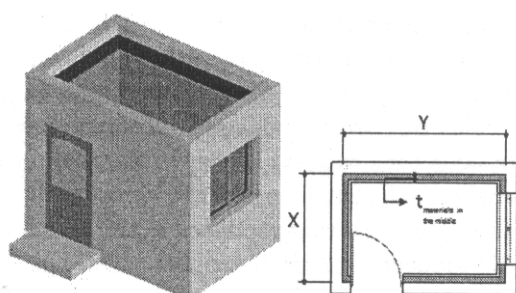
2D 評估方式算出房間所需之各種建材數量，對建築內部建材的長寬和類型進行量測，然後算出營造費用。根據圖一房間內部鋼骨大小，讓房間長寬 XY 標準化。此外，還可將房間寬度改變，並不需對中間階段與最終階段建材進行分類即可算出建材數量。雖然中間階段與最終階段建材跟圖二的實際營造狀態同樣方式塑模，但完工階段的建材數量因中間階段所用的建材厚度而有所差異。因此，3D 數量抓取模型不僅能夠準確計算數量，而且能檢驗可行性。

對於準確的數量抓取來說，建材必須在準確營造狀態下進行塑模。即使沒有塑模下，也能夠得到 3D 模型，以修改建材數量的錯誤。儘管對建材與鋼骨進行塑模作為 3D 數量抓取用，但也增加模型改良與塑模幅度。就數量準確度而言，允許 3D 數量抓取是可行的，相反地就速度卻沒有效率且無法廣泛使用，因為過程需要以 3D 模型來形成，造成時間延遲。



| 產品       | 建材類型 | 量測因子                                              |
|----------|------|---------------------------------------------------|
| 水泥灰漿 W18 | 中間建材 | $2 \times (X+Y) \times h$ materials in the middle |
| 水性油漆     | 最終建材 | $2 \times (X+Y) \times h$ materials in the middle |

圖一 2D 計算範例



| 產品       | 建材類型 | 量測因子                                                                           |
|----------|------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 水泥灰漿 W18 | 中間建材 | $2 \times (X+Y) \times h$                                                      |
| 水性油漆     | 最終建材 | $2 \times (X+Y-2t)$ materials in the middle $\times h$ materials in the middle |

圖二 3D 計算範例

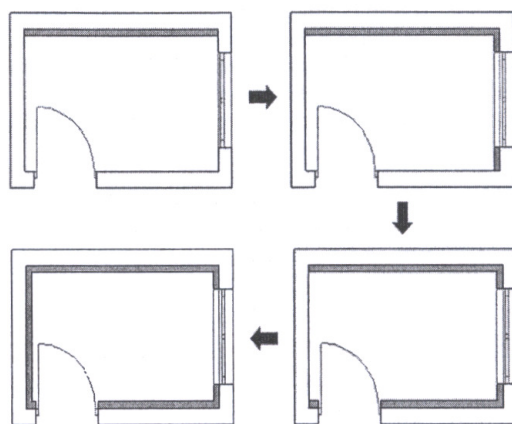
### 建築內部自動化建築資訊模型系統

一般來說，建立 3D 營造模型由房屋形狀的要素所組成，其包含代表建築結構的牆面、支柱、軸套與主樑，以及非隔間牆面、隔間與小牆面。因為 3D 模型顯示建材數量，所以能夠呈現實際營造的類似影像，但無法以 3D 模型觀看實際完工的建材截面形狀，起因於每種建材並非同時塑模，使得一個物件以一部份的牆面與建材來塑模的情況可能發生，有效縮短作業時間。

為了計算 3D 數量抓取完成時間，必須進行每種建材的 3D 模型，跟實際營造狀態一樣準確量測數量。此

外，由於塑模時間的增加與 3D 數量抓取工作量，所以還需要採取行動來改善計算能力。因此，本文建立自動化建築資訊模型系統，以縮短建材與建築塑模所需的時間。

自動化建築資訊系統不僅讓從事人員縮短 3D 數量抓取塑模的時間，而且還根據鋼骨形狀自動產生建材。換言之，利用內部塑模的自動化系統，而非重複繪製每種建材(圖 3)，讓從事人員減少工作量與節省時間。



圖三 建立 3D 模型老舊方法

### 自動化建築資訊模型系統開發與檢查

在老舊方法中，從事人員要重複繪製許多建材來建立 3D 模型。因此，本文開發一套自動化建築資訊模型系統，以進行內部繪圖工作而非採用人工繪圖，使得生產力增加並縮短 3D 塑模的總時數。

在從事人員人工繪圖的方式下，圖形也由他們來自行決定；不過，必須說明框區並確認系統建材塑模的基準。在建材塑模時，標準框區應該依幾何限制來設定，系統內部提供使用者選擇連接框區與計算房間或座標之功能，便於確認完成塑模的基準。此外，還能檢查可能進出場所，並且適用於塑模的最終階段(圖四)。

此系統已進行導引測試，使其廣

泛用於南韓建築內部塑模的物件，便於檢驗本文所提出的系統結果。藉由系統測試，總共 211 個建材模型中有 84 個約佔 40%，又其中的 50%為 51 個建材模型需要改善。再者，33 個建材模型不需進行任何修改即可使用，跟人工塑模方式相比，塑模時間縮短大約 60%到 70%。

## 結論

本文包含 3D 數量抓取與其限制所需之標準。爲了克服限制，完成的塑模方法能夠根據幾何限制與自動化建築資訊模型系統立即繪製許多建材。系統通過南韓建築內部塑模測試，根據測試結果，因時間縮短對 3D 數量抓取與計算有助於生產力提升。

## 附錄十二

### 2009 年第 26 屆國際營建自動化研討會－資訊與運算科技

#### 建築物運用無線感測網路的性能指標評估

Won-Suk Jang<sup>1</sup> and William M. Healy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-8632; PH: (301) 975-5855; FAX: (301) 975-5433; e-mail: wonsuk.jang@nist.gov

<sup>2</sup>Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-8632; PH: (301) 975-4922; FAX: (301) 975-5433; e-mail: william.healy@nist.gov

#### 摘要

本文係屬建築物運用無線感測網路評估性能系統與方法之一部份。由於應用要求的改變，因此對評估建築物運用無線感測網路之方法開發造成極大的挑戰。透過研究結果與營造業人士討論，本文提出建築物運用無線技術所遭遇的挑戰。預期調查結果提供可能無線使用者一項清楚的指標，以及瞭解建築物運用無線感測器的障礙。

#### 介紹

無線技術便於建築物自動化、營造與結構健康監控應用之感測器佈放，但對許多考慮採用感測器系統的工程師與操作人員，並未完全瞭解無線系統如何在特殊應用上運作。在美國量測系統評估書裡，針對這些量測需要進行說明，如同“無線感測網路的可能終端使用者在許多應用上並不想採用，因為無線連線有不確定性的問題。此外，最近標題“建築用前瞻感測與控制”的 DOE 研發圖，建議研發感測系統之運作測試與評估計畫，”提供有系統且具比較性的測試、採用並開發標準測試協定，因而有助於確認環境缺失與操作限制。”由於建築類型與應用需求的變化，因此用來評估建築物無線感測網路性能之量測方法開發極具挑戰性。因為第一部份的努力結果，所以本文提出建築物採用無線技術所遭遇之主要挑戰，以確保有利建築物主與居民瞭解

採用無線感測與控制的障礙。

#### 背景

為了確認這些需要，美國國家標準技術研究院(NIST)的研發團隊參考許多文獻，並與從事建築營造和使用無線產品的人員進行訪談。此外，還對大型建築自動化公司、無線設備製造商、工程顧問設計公司、建築保養部與研究機關的員工進行訪談，這些人員一般被詢問 1)他們認為使用建築物運用無線感測與控制所遭遇之挑戰或問題，以及 2)給予使用者對無線系統性能更有自信之量測類型。

針對這些採用建築無線技術之障礙，本文開發量測方法與測試標準，讓使用者能夠預測建築用無線系統性能。即使每一種應用均不同，但預期標準指標提供設計無線網路的有用資訊，作為所需的服務標準。

#### 實際挑戰

本節針對最重要且實際的議題來說明，作為一項建築物無線感測設計

與應用之有用指標。

## 1) 成本

採用無線感測與控制系統比有線系統的主要優點在於安裝和維護費較便宜。在大型建築物所用的有線系統中，因為線路數量與複雜性而有昂貴的成本費。在現有與新設線路中，有線系統每公尺的安裝費分別為\$7.21 元與\$2.20 元。此外，曾經有報導說過，在結構健康監控網路中，接線佔了75%的感測安裝費。即使安裝費跟營造類型、建築物大小與無線中繼器使用與否有關，但是隨著無線硬體價格下降而變得更有競爭力。

節點與中繼器的使用數量就是評估無線系統費用之主要因素，節點數量取決於特定應用，中繼器則跟建築營造、大小與無線傳輸方式有關。因此，設計者可能需要進行取舍，才能讓特殊安裝合乎所要的價格。

總之，無線系統的安裝人員必須瞭解這套系統比相同功能的有線系統還要貴，有線系統費對無線系統費的評估指標有助於使用者大大地瞭解無線系統的優缺點。

## 2) 可靠度

無線系統的可靠度是一項使用者可能運用建築物無線技術的主要議題。就最基本的標準來說，儘管無線系統的可靠度要求可能在廣泛的應用上或多或少較為嚴格，但跟有線系統有相同等級的可靠度。

定義可靠度本身就是一項困難的工作，下列內容說明不同方面的可靠度與其影響的因素。

### 準確度

無線感測網路雖沒有明確規定量測準確度，但對所有感測器是一項重

要議題。一般來說，內外雜訊對感測器與設備的準確度造成限制，雜訊可能改變轉換器所產生的類比信號因而影響感測器讀值。一般來說，在進行無線傳輸之前，先將感測節點的感測器讀值從類比信號轉換成數位信號。因為資料以數位傳輸，所以對干擾資料傳輸的雜訊較不會影響量測值的準確度變化。此外，環境影響所造成的資料劣化或失真一般導致極大的誤差值。

對於準確度來說，無線感測網路的優點就是節點備援。高密度的節點不僅可以補償雜訊與非理想狀態所造成的整體不確定性，而且還可能增加特定區域的整體量測準確度。例如，採用叢集式拓樸可收集同一區域的感測數據。儘管這種拓樸引起瞭解哪一筆感測數據最接近正確的問題，但是的確顯示有些感測器發生故障時取得數據的可能性，或使用統計方法以判斷最佳參數。因此，高密度分散式無線網路藉由備援量測而有助於增加整體準確度。

### 信號覆蓋率

對於無線連線可靠度來說，不同營造類型與無線信號覆蓋率均是重要的因素。在大部份的情況下，兩套無線系統之間沒有障礙物(在空曠的地方)時，發射機與接收機有最大允許距離。不過，由於室內通常有牆面、地板、天花板與裝潢，因此實際預測的信號傳播更為複雜。不同的建材也會對信號產生衰減，甚至讓阻斷射頻信號(RF)傳播。

此外，更複雜的情況就是可能不同建築物對不同的頻率與傳輸功率造成影響。在沒有完全瞭解實際應用的

允許傳輸距離下，使用者可能裝設更多的中繼器(增加系統成本)或將感測器裝設在無法接收數據的地方之風險。

### 干擾

低功率的無線裝置容易受到其它相同工業、科學和醫療(ISM)頻帶的高功率無線技術之干擾，一般來說，由於全世界都在使用，因此許多無線感測網路裝置的操作頻率在 2.4GHz 頻帶。儘管不同的信號通訊技術讓干擾風險降至最低，仍有許多發射相同頻率的設備可能會造成干擾。從訪談中得知，終端使用者對於裝置在某些時間內因干擾而沒有報告健康數據表示擔心。以一般干擾圖案進行標準無線系統性能之量測技術，有助於使用者瞭解在無線系統中其它裝置所造成之影響。

### 潛在因素

即時擷取資料被視為一種無線感測網路的特殊應用。無線感測網路的原本特性，像動態拓樸、連結中斷、頻寬有限與頻道改變，通常限制即時性能。由於大部份的應用具有不同的預期結果，使得無線感測器所擷取的數據在一定的時間內要被接收機接收，因此有不同的端對端潛在需求。儘管端對端潛在因素對某些應用是最重要的，像緊急回應，但對許多應用來說，服務品質(QoS)通常有較高的優先權。因此，大多的即時解決方案要在電量管理與潛在因素之間進行折衷，而且還要進行謹慎的傳輸控制與拓樸管理。

### 故障誤差

在隨機裝設的無線感測節點中，各別元件的故障，像節點、網路或轉

換器，均無可避免。在建築物的感測網路設計裡，確認影響系統整體性能並造成量測自信度劣化的故障是相當重要的。在建築應用中，可將故障分成三大類：1) 節點故障、2) 網路故障與 3) 來源故障。首先，在嚴苛的環境下，能夠確認不同來源的節點故障，許多極端的條件會造成天線、電路與電池故障，導致無線感測網路性能變差。其次，網路故障是無線感測網路常見的另一種故障，因為高密度裝設的節點增加通訊故障的機會。第三類轉換器故障，蒐集數據的位置也容易發生故障。一般來說，電源供應與網路基礎建設為主要來源故障的元件，因而造成整個感測系統之故障。

有許多可用來評估或預測可靠度的指標。

### 接收信號強度指標(RSSI)

接收信號強度指標(RSSI)係指量測接收無線信號功率之名詞，在接收機的無線晶片來計算 RSSI，並且提供網路無線品質判斷。RSSI 當作無線可靠度指標的缺點就是，無法與封包接收成功率搭配。不論周圍雜訊多大，RSSI 只是量測接收的功率強度。例如，低強度信號在完全沒有雜訊下的連線品質可能比高強度信號在有雜訊環境下還要好。

### 連線品質指標(LQI)

使用連線品質指標(LQI)符合 IEEE802.15.4 規定，以評估接收機與發射機[IEEE802.15.4-2006, 2006]之間的通訊連線品質。LQI 係依信號雜訊比或標準頻帶信號電量密度，而且至少提供平均相關值，作為超過 8 個符號期間每個輸入封包用。

由於搭配 RSSI，因此只考慮單一



發射機/接收機的環境影響下，LQI 允許使用者評估通訊連線。不過，因為 LQI 評估實體層傳輸的所有可能頻率，所以提供比 RSSI 還要多的 IEEE802.15.4 連線品質評估。

### 封包錯誤率

封包錯誤率(PER)定義為某段時間接收失敗的封包量比上總傳送封包量。在可靠的系統中，簡單預期每個傳送的封包被接收機正確接收。量測可靠度的方法就是追蹤發射機傳送的訊息量，並且比較基地台的成功接收訊息量，然後可靠度能夠表示成掉落資料封包對總傳輸量之百分比或封包錯誤率。

### 3) 電量管理

在無線感測網路中，電量一般有限，通常由小型電池所組成。當成千上萬的節點置於長期監控網路中時，此限制就變得相當重要。在此情況下，實際上無法對這種大型節點裡的電池進行改變或重新充電。經過與無線感測供應商和使用者討論後，感測器的預期使用壽命成為常見關心的議題。儘管對電池更換的時間並沒有共識，但似乎一般可接受的時間為五年，許多供應商聲稱他們製造的感測節點有效率，因此至少十年不需保養，其使用時間比電池還要長。一般電池電量如表 1 所示，但自放電式電池限制所用的電量。

| Cell Size | 電量[mA.h]   |
|-----------|------------|
| AAA       | 700        |
| AA        | 1500~2000  |
| C         | 50000      |
| D         | 9000~12000 |
| 9V        | 550        |

表一 一般電池電量量 [Halpern 與 Saleem, 2005]

為了讓電池達到長使用壽命，在沒有擷取數據時，就會進入”睡眠模式”消耗最小電量，在短暫時間內傳送資料封包，讓傳送的資料量降至最低。一般電量管理有不同的無線節點操作模式，如表 2 所示。一般來說，信號傳輸比資料擷取與處理消耗更多的電量，因此將無線傳輸所需的消耗電量降至最低，這樣有助延長電池的使用時間。不過，電池更換的時間跟特定應用有關。在此情況下，系統的使用壽命受到資料擷取與傳輸次數、無線發射機功率與網路設計的影響。即使網路可能增加通訊可靠度，而該網路裡的每個節點可當作中繼器，但比只傳送本身的資料消耗更多電量。

建築物使用感測器的其中一項優點就是既有配電管路，因此感測器能夠透過本身線路的電源以無線方式傳送資料。此外，在感測節點與基地台之間不需多重跳躍傳輸下，以電源線供電的中繼器即可有助於延伸無線網路的存取功能。關於其它感測器供電的方式，從震動、陽光或溫度梯度來產生電仍進行中。

這些系統雖可能消除感測節點採用化學式電池，但可能需要部份電氣儲存方式，才能足以提供感測器所需的電量。

| 無線模式 | 消耗功率  |
|------|-------|
| 發射   | 15    |
| 接收   | 12.5  |
| 睡眠   | 12.4  |
| 待機   | 0.016 |

表二一般無線節點的消耗功率 [Zhao 等人 2002]

隨著感測網路的電量管理，對不同應用的感測節點消耗電量需要有一個明確的指標。在一段感測節點所進

行的時間內，以電池供電的節點需要對整體消耗電量進行評估。節能技術也需要對能源轉換有徹底研究，以判斷資擷取與無線傳輸所需之電量。

#### **4) 互連性**

家用與辦公室用的 IEEE 802.11 和 WiFi 無線網路存取技術增加建築快速採用無線感測技術之自信心，互連性讓 WiFi 更具吸引力。使用者安裝無線網路卡，能夠與其它電腦進行可靠的連線，ZigBee 聯盟的其中一個目標就是讓無線網路有著相同互連性等級 [ZigBee Alliance, 2008]。藉由採用 IEEE 802.15.4 標準作為無線通訊的實體層，ZigBee 在網路協定與資料交換中新增互連性的標準規範，不僅終端使用者可以使用感測器作為特殊應用，而且更有自信與監控系統進行整合。除非使用者能夠確定無線感測網路能夠以標準組件便於修改與訂製外，否則他們會猶豫使用。

#### **5) 方便使用與免保養**

安裝容易且不需保養也是終端使用者可能採用的重要因素，大部份使用無線感測器的土木與建築工程師對電機工程與無線原理並不瞭解，這些卻是無線感測網路運作相當重要。因此，無線感測平台必須容易與現有網路整合，不需太多程式設定，具有直

覺式使用者介面，並且以標準格式來傳送資料，方便以應用程式來讀取。此外，這些感測器必須能夠長期使用並不需保養。

#### **6) 保密性**

利用無線資料傳輸，有一件令人擔心的問題就是，駭客不僅將量測數據或存取建築自動化系統更改，而且還使用無線感測系統作為進入其它重要資訊基礎建設的入口，尤其是嚴禁使用無線的軍事設施。其它設施管理人員聲稱，他們的資訊技術保密室對裝設無線基礎設施相當重視；因此他們選擇不採用無線方式。

### **結論**

此文對建築物禁止採用無線感測器所擔心的議題提出重要的看法：1) 成本、2) 可靠度、3) 電量管理、4) 互連性、5) 方便使用與免保養與 6) 保密性。建議應開發量測方法，有助於使用者清楚瞭解系統性能。每個關注的議題可能需要許多測試方法，便於評估特殊建築物的無線感測網路之性能。

NIST 研究團隊近來開發這些測試方法，讓使用者瞭解無線感測系統如何在其應用領域中運作，開發測試方法所獲得的結果提供不同應用所須的無線感測系統有效使用之指引。