

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

感測辨識技術於核設施除役工程之擴增實境應用研究  
**Study on Augmented Reality Application for Visual-Sensor-Based  
Nuclear Facility Decommissioning Task**

計畫編號：1022001INER002

受委託機關(構)：國立雲林科技大學電機工程系

計畫主持人：何前程

聯絡電話：05-53342601 #4236

E-mail address：futureho@yuntech.edu.tw

核研所聯絡人員：黃崇豪

報告日期：102 年 11 月 28 日

## 目 錄

中文摘要 .....	1
ABSTRACT.....	2
壹、計畫緣起與目的 .....	3
貳、研究方法與過程 .....	5
參、主要發現與結論 .....	8
肆、參考文獻 .....	19

## 中文摘要

核設施除役工程需要執行核設備組件拆解，但是在拆解過程中，高放射性活度的設備組件與高輻射暴露量的工作環境，對於施工人員與輻射安全都會造成很大的影響。因此，如何提升核設施除役工程的環境安全與降低工作人員的輻射暴露量一直都是最根本重要的議題。本計畫將在行動裝置上，互補且無縫地整合 RFID 與 QR code 二種感測辨識技術來實現室內定位。然後，行動裝置將即時地連線到資料庫，以取得最新的核設施相關設備的放射性活度與輻射暴露量等資訊。最後，透過擴增實境技術，行動裝置將以圖像化方式顯示所處的工作環境中，原本肉眼所無法看見的放射性活度與輻射暴露量的彩色圖像與分佈狀況，以便讓工作人員避開危險區域。因此，本計畫之技術成果不僅可以提升核設施除役工程的工作效率與環境安全，亦可降低工作人員接受的輻射劑量，以符合 ALARA 原則。

## **Abstract**

The decommissioning task of nuclear facility inevitably involves the dismantlement of the nuclear equipment and parts. But, during the dismantling process, the environment filled with high radioactivity and high radiation exposure must pose a serious threat to the field workers and nuclear safety. How to maximize the environmental safety of nuclear decommissioning task and minimize the radiation exposure of the field workers is always the fundamental issue. On the mobile device, this project will cooperatively and seamlessly integrate two sensor and vision technologies, RFID and QR code, to realize indoor positioning. Then, the mobile device will connect to the database instantly and acquire newly-updated information about the radioactivity and radiation exposure of the nuclear equipment and parts. Finally, through augmented reality technology, the mobile device will visually show the color graph and distribution situation of the invisible radioactivity and radiation around the field workers so that the field workers can keep away from the dangerous zones. Therefore, the outcome of the project not only can raise the working efficiency and environmental safety of the nuclear decommissioning task, but also can reduce the radiation exposure dose on the field workers to conform to the ALARA criterion.

## 壹、計畫緣起與目的

核設施除役工程需要執行設備組件拆解，但是在拆解過程中，高放射性活度的設備組件與高輻射暴露量的工作環境，對於施工人員與輻射安全都會造成很大的影響。因此，如何提升核設施除役工程的環境安全與降低工作人員的輻射暴露量是核設施除役工程中最重要之議題，尤其是讓工作人員可以在行動裝置上立即看見所處的工作環境中，原本肉眼所無法看見的放射性活度與輻射暴露量的彩色圖像與分佈狀況，以便警示危險區域與導航安全路線。詳細的技術流程圖，如圖1所示。

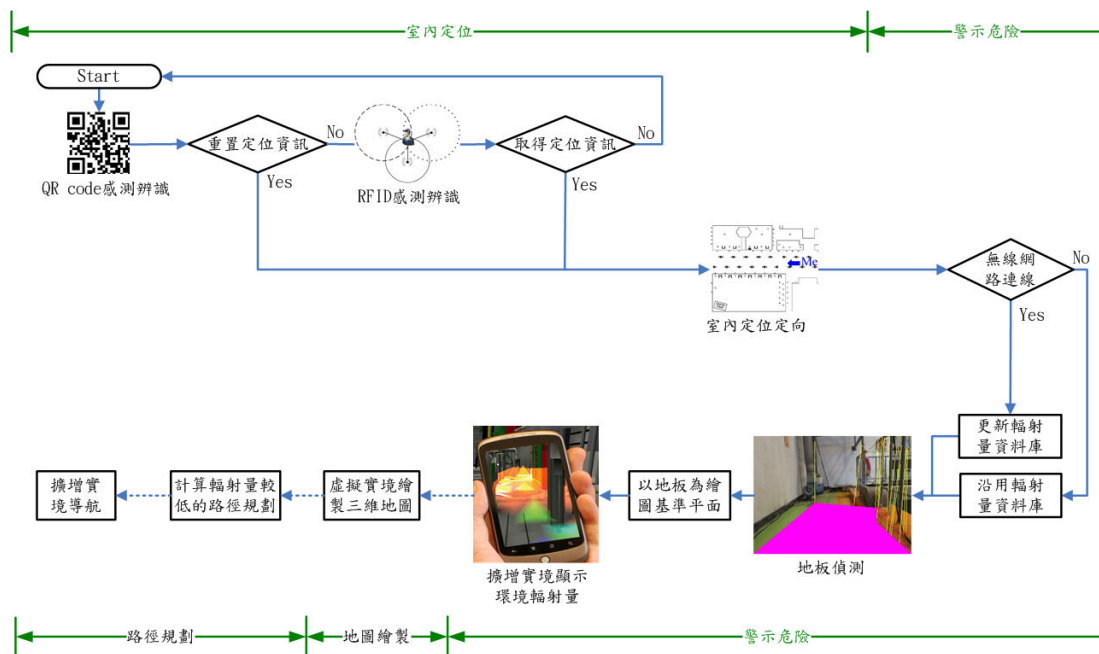


圖1：應用於核設施除役工程之行動警示與導航裝置的技術流程圖

為了實現完整的核設施除役工作環境所需的行動警示與導航功能，核設施除役工作人員手上的行動裝置通常會依序完成以下四個工作階段：1)室內定位；2)警示危險；3)地圖繪製；4)路徑規劃，如圖1的流程圖所示。首先，核設施除役工作人員手上的行動裝置一定

要先完成精確的「室內定位」，行動裝置才能知曉目前所處的工作環境位置。接著，將周遭的核設施相關設備的放射性活度與輻射暴露量的資料庫，透過無線網路連線做更新或沒有無線網路時就繼續沿用舊資料。再透過地板偵測（切割實際場景中的地板區域來做為繪圖基準平面）與擴增實境（在實際場景中的地板上圖像化地顯示輻射暴露量的分布狀況）技術，在行動裝置上顯示危險區域來做「警示危險」。若行動警示裝置再應用更複雜的虛擬實境技術，完成核設施除役工作環境的二維或三維「地圖繪製」，核設施除役工作人員的行動裝置還可以提供輻射暴露量較低的工作「路徑規劃」或逃生「路徑規劃」，也可以透過擴增實境技術來提供工作路徑或逃生路徑的導航。由於1)室內定位與2)警示危險，是核設施除役工作環境之行動警示裝置的最基本二項功能，因此本年度計畫研究與整合此二項功能於行動警示裝置上。

## 貳、研究方法與過程

為了完成圖 1 所示的行動警示裝置，本計畫針對 1) 室內定位技術，基於感測辨識裝置的室內定位技術的詳細流程圖如圖 2 所示，提出與完成了四種創新的理論與實作方法。此外，針對 2) 警示危險技術，警示危險技術的詳細流程圖如圖 1 所示，也提出與完成了二種創新的理論與實作方法。

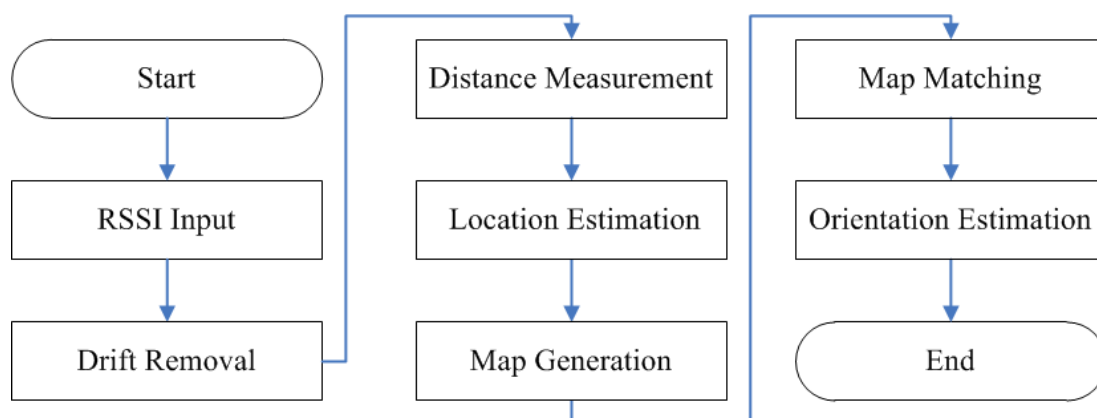


圖 2：基於感測辨識裝置的室內定位技術的流程圖

隨著無所不在的可攜式裝置與穿戴式裝置的日益普及，用來輔助室外定位技術的室內定位技術的研發需求也日益增加，以便發展出各類以位置感知為基礎的新興應用服務，例如：室內外路徑導航、室內外救難引導、室內外社交網路等。同樣地，為了實現核設施除役工程所需的行動警示功能，在可攜式或穿戴式裝置上研發室內定位技術也是最優先且最關鍵的步驟。

雖然全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)已經成為最可靠且最普及的室外定位技術，但是全球衛星定位系統不能也不適合做為室內定位技術。在眾多基於感測辨識裝置的室內定位技術中，基於主動式射頻識別(Radio Frequency Identification, RFID)裝

置的室內定位技術的性能成本比遠優於基於紅外線(Infrared)裝置、超音波(Ultrasonic)裝置或無線網路(Wi-Fi)裝置的室內定位技術[1]-[4]。這是因為紅外線裝置的訊號特性有直線性與短距離的缺陷，超音波裝置的基礎設施成本太昂貴且不普及，而無線網路裝置的功率消耗與建置成本都太高了[5]-[9]。因此，本計畫在研發核設施除役工程所需的行動警示功能時，採用主動式射頻識別裝置做為室內定位技術的感測辨識基礎設施。以下關於圖 2 的室內定位技術流程圖的說明也是基於主動式射頻識別裝置。

在圖 2 的主動式射頻識別裝置的室內定位技術的流程圖中，首先在 RSSI Input 階段，室內定位系統中的射頻識別讀卡機必須讀取主動式射頻識別標籤(RFID Tag)所回傳的「接受訊號強度指標」(Received Signal Strength Index, RSSI)。相反於傳統的射頻識別室內定位系統的設定，本計畫是將射頻識別讀卡機整合於待定位目標者的行動裝置上，而主動式射頻識別標籤則做為室內地圖中已知座標位置的地標基礎設施。因此，待定位目標者手上的行動裝置將負責讀取接受訊號強度指標。當切換室內空間時，待定位目標者手上的行動裝置將會讀取 QR code 來重置定位資訊。接下來，在 Drift Removal 階段，由於「接受訊號強度指標」很容易受到電磁波干擾與多重路徑干擾的影響而飄移，因此必須消除飄移效應，以取得正確的「接受訊號強度指標」。然後，在 Distance Measurement 階段，待定位目標者手上的行動裝置將取得的「接受訊號強度指標」轉換為射頻識別讀卡機與主動式射頻識別標籤之間的相對距離，根據室內大尺度傳播路徑損耗模型(Indoor Large-Scale Path Loss Propagation Model)[10]。接著，在 Location Estimation 階段，待定位



目標者手上的行動裝置將透過多點定位法來估測待定位目標者的座標位置。在取得待定位目標者的座標位置與周遭的主動式射頻識別標籤的地標位置之後，在 Map Generation 階段，行動裝置將可以產生正確適宜的室內地圖，並且在 Map Matching 階段，將待定位目標者的位置匹配到室內地圖中。最後，根據過去的路徑軌跡分析，在 Orientation Estimation 階段，行動裝置將估測待定位目標者的方向，然後待定位目標者的位置與方向就會被顯示在行動裝置螢幕中的地圖。

### 參、主要發現與結論

本計畫針對 1) 室內定位技術，所提出與完成的四種創新的理論與實作方法，詳細解釋如下：

#### 一、在 RSSI Input 階段

完成整合射頻識別裝置與 QR code 二種感測辨識技術與實作於行動裝置上。透過 QR code 感測辨識技術來進行輔助與重置定位資訊，以克服電磁波干擾與金屬屏蔽效應對於主動式射頻識別裝置為基礎的室內定位技術的干擾。圖 3 是 QR code 感測辨識技術的實作成果，行動裝置的螢幕顯示出重置定位的結果為(0.8, 0)的座標位置。

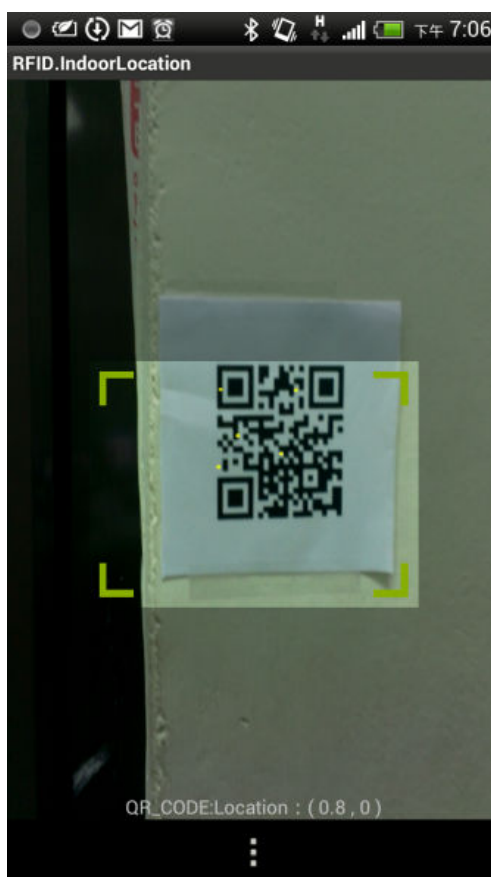


圖 3：QR code 重置定位技術

另外一方面，由於一般射頻識別裝置廠商所販售提供的射頻識別讀卡機與主動式射頻識別標籤只是用來做感測辨識應用而已，並不是專門用來做空間定位的應用。同一家廠商所出售的每一套射頻識別讀卡機與每一套主動式射頻識別標籤的電磁特性都不一致，因此必須先在無電磁干擾與無電磁回波的電波暗室中，如圖 4 所示，進行射頻識別讀卡機與主動式射頻識別標籤的量測實驗，以篩選電磁特性相近的射頻識別讀卡機與主動式射頻識別標籤來做為核設施除役工作環境所需部署建置的室內定位基礎設施。



圖 4：在電波暗室中進行射頻識別裝置的量測實驗

## 二、在 Drift Removal & Distance Measurement 階段

利用卡曼濾波器(Kalman Filter)與自行實驗驗證所推導而得的室內大尺度傳播路徑損耗模型(Indoor Large-Scale Path Loss

Propagation Model)，如圖 5 所示的解決方法的流程圖，分別有效地解決「接收訊號強度指標飄移」(RSSI Drift)問題與實現「接收訊號強度指標與相對距離的線性轉換公式」，以提高適用於核設施除役工作環境所需的射頻識別裝置為基礎的室內定位技術的精準度。圖 6 是不同的相對距離，從 1 公尺至 5 公尺，原始有飄移問題的「接收訊號強度指標」(綠線)與經過卡曼濾波器快速收斂的「接收訊號強度指標」(紅線)的實驗數據比較圖。圖 6 的實驗數據比較圖可以驗證，控制領域知名常用的卡曼濾波器可以有效地解決射頻識別裝置的「接收訊號強度指標飄移」(RSSI Drift)的問題[11]-[13]，並且讓射頻識別讀卡機快速且有效地收斂射頻識別標籤所傳送的「接收訊號強度指標」的輸入值。

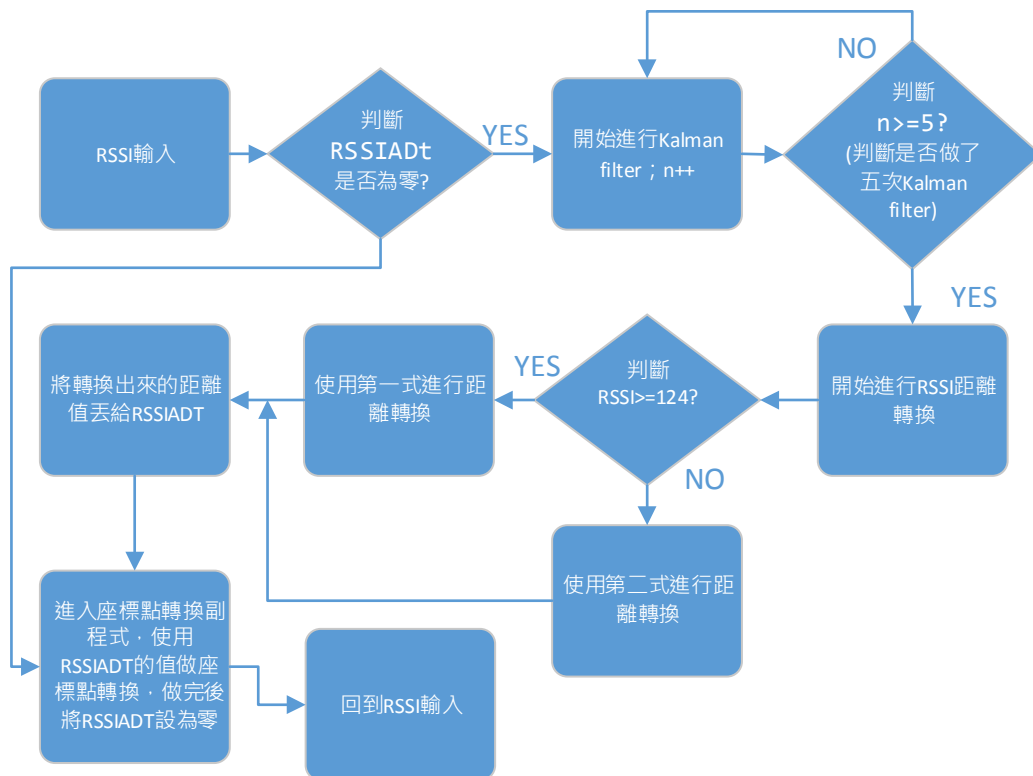


圖 5：RSSI 飄移消除與距離轉換細節流程圖

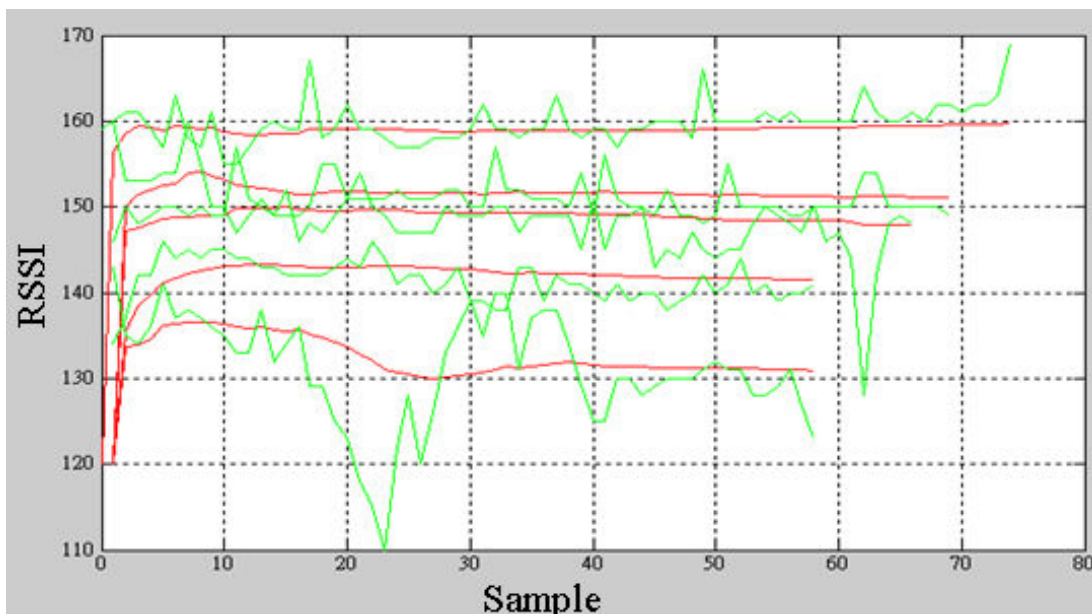


圖 6：原始有飄移問題的與經過卡曼濾波器快速收斂的「接收訊號強度指標」的實驗數據比較圖

數學式(1)是電磁波理論上的室內大尺度傳播路徑損耗模型， $[p(d)]_{dBm}$  是指經過傳播路徑距離  $d$  所接收到的電磁波訊號強度，單位是 dBm。 $[p(d_0)]_{dBm}$  是指經過傳播路徑距離  $d_0$  所接收到的電磁波訊號強度，單位是 dBm， $d_0$  是參考距離，通常是 1 公尺。 $n$  是此空間中的路徑損耗指數，通常是由實際的實驗測量得到，障礙物越多， $n$  值越大，通常設為 5。 $X_{dBm}$  是一個以 dBm 為單位的雜訊，平均值為 0 的高斯隨機變量，在沒有電磁干擾的環境空間中，可以設為零。數學式(1)可以簡化為數學式(2)[14]。可是，無論是數學式(1)或數學式(2)，訊號強度的單位是 dBm，而非「接受訊號強度指標」(RSSI)。因此，本計畫透過一元二次方程式的關係假設與實驗數據的疊代推導，大膽求得目前採用的射頻識別讀卡機與主動式射頻識別標籤的「接受訊號強度指標」與 dBm 的關係式，並最終實現「接收訊號強度指標與相對距離的線性轉換公式」。

$$[p(d)]_{dBm} = [p(d_0)]_{dBm} - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dBm} \quad (1)$$

$$d = 10^{\frac{p(d_0) - p(d)}{10n}} \quad (2)$$

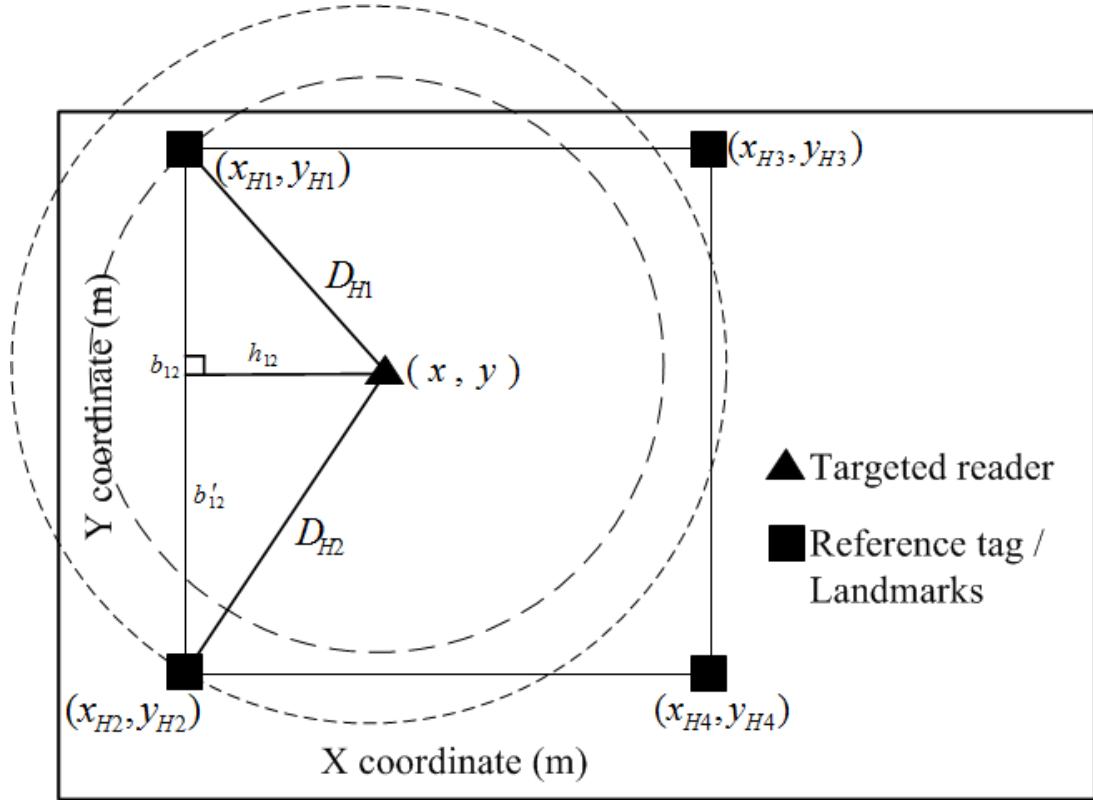


圖 7：海龍二點定位法的原理示意圖

### 三、在 Location Estimation & Map Generation 階段

研發與實作自行創新提出的「在周邊建置地標地圖的海龍二點定位法」(Heron-Bilateration with Border-Deployed Landmark Map)，如圖 7 所示，以大幅地降低適用於核設施除役工作環境所需的室內位置估測時間、室內位置定位誤差及室內地圖建置成本，但是不會犧牲室內定位的解析度與精準度。在「在周邊建置地標地圖的海龍二點定位法」中，只需要一個可攜式射頻識別讀卡機做為待定位目標，二個建置於室內地圖周邊做為地標的主動式射頻識別標籤，就

可以實現一個即時處理效能的手持式室內定位裝置與一套符合成本效益的可任意擴充展延的室內定位基礎設施。

數學式(3)、數學式(4)及數學式(5)是海龍二點定位法估測待定位目標者的座標位置的推導原理。表 1 與表 2 分別是不同的位置估測方法的執行時間與定位準度的實驗結果比較表。從表 1 與表 2 的實驗數據可以看出，相較於傳統的近似樣本比對定位法(Proximity Pattern Matching)[15]-[17]與三點定位法(Trilateration)[14], [18], [19]，本計畫自行創新提出的「在周邊建置地標地圖的海龍二點定位法」的執行時間較短且定位準度較高。

$$A = \sqrt{s(s - D_{H1})(s - D_{H2})(s - b_{12})},$$

$$\text{where } s = \frac{1}{2}(D_{H1} + D_{H2} + b_{12}) \text{ and } b_{12} = |y_{H1} - y_{H2}| \quad (3)$$

$$\therefore A = \frac{1}{2}(b_{12} \cdot h_{12}) \quad \therefore x = x_{H2} + \frac{2\sqrt{s(s - D_{H1})(s - D_{H2})(s - b_{12})}}{b_{12}} \quad (4)$$

$$\therefore D_{H2}^2 = h_{12}^2 + b_{12}'^2 \quad \therefore y = y_{H2} + \sqrt{D_{H2}^2 - h_{12}^2} \quad (5)$$

表 1：不同的位置估測方法的執行時間比較表

Method	Execution time
Proximity pattern matching	0.63 sec
Trilateration	0.81 sec
<b>Heron-bilateration</b>	<b>0.42 sec</b>

表 2：不同的位置估測方法的定位準度比較表

Method	Localization error
Proximity pattern matching	1.65 m
Trilateration	1.22 m
<b>Heron-bilateration</b>	<b>0.83 m</b>

#### 四、在 Map Matching & Orientation Estimation 階段

完成定位座標與室內地圖的匹配，並且顯示在行動裝置的螢幕上，以實現適用於核設施除役工作環境所需的行動警示裝置中的室內定位與定向技術，如圖 8 所示。在圖 8(a)中，黑色模組是行動警示裝置中的 Android 智慧型手機平台，白色模組則是具備藍芽通訊介面的射頻識別讀卡機。Android 智慧型手機平台是透過藍芽通訊介面來存取射頻識別讀卡機所讀取到的「接收訊號強度指標」資料，因此射頻識別讀卡機沒有支援 Android 作業系統驅動程式的問題可以被略過與克服。本計畫所研發的 QR code 重置定位技術、卡曼濾波器消除飄移技術、接收訊號強度指標與相對距離的線性轉換公式、在周邊建置地標地圖的海龍二點定位法及後續介紹的 EdgeLine 地板偵測與切割方法等新創技術，都是實用且簡單的方法，因此可以毫無負擔地移植到 Android 智慧型手機平台上。圖 8(b)是用來建置室內地圖所需的地標基礎設施的主動式射頻識別標籤的樣本。圖 8(c)是行動警示裝置的螢幕上顯示室內定位與定向的實作結果。

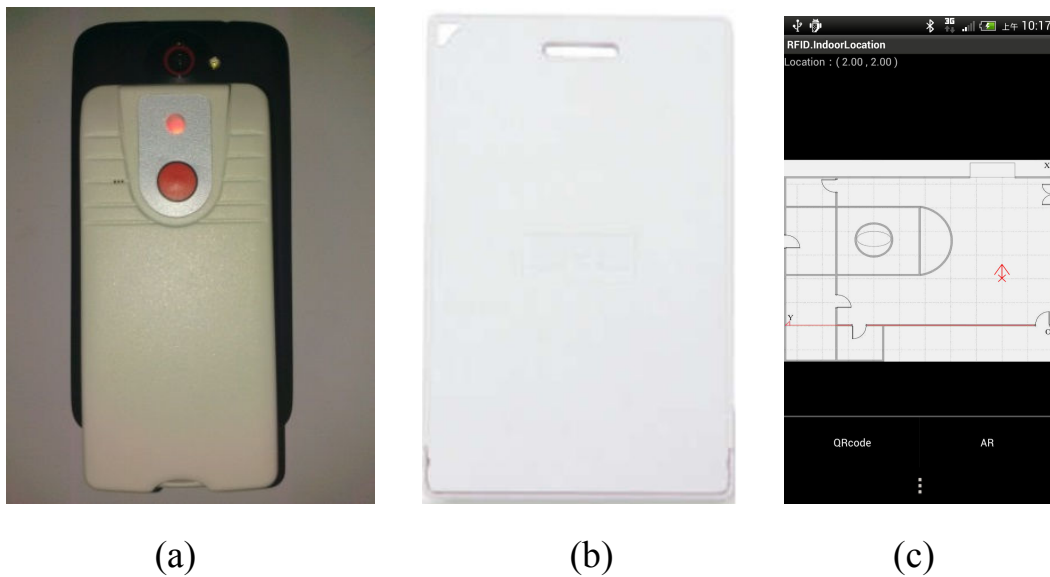


圖 8：(a)行動警示裝置，(b)室內地圖地標及(c)定位定向實作結果



此外，本計畫針對 2) 警示危險技術，也提出與完成的二種創新的理論與實作方法，詳細解釋如下：

## 五、在 Floor Detection 階段

研發與實作自行創新提出的邊緣線 (EdgeLine) 與 Ramer-Douglas-Peucker (RDP) 改良版地板偵測演算法，完成地板區域的偵測與切割 (Floor Detection and Segmentation)，以建立適用於核設施除役工作環境所需的擴增實境警示應用的繪圖基準平面。經由 Canny 邊緣檢測演算法與 Ramer-Douglas-Peucker (RDP) 演算法簡化邊緣線段後，雖然大部分的地板邊緣已經可以被檢測，如圖 9 所示，但由於邊緣資訊中還包含其他物體與牆面的邊緣資訊，所以必須分辨地板與牆面，因此利用檢測垂直長線段的終點 (End Dot) 來分割地板的邊界點。再使用 HoughLine Transform 尋找線段 [20]，並將尋找出的線段做統計，經由統計過後再過濾小線段，並將留下來的線段做比較與延伸連線，就可以完成地板區域的偵測與切割。

詳細的地板偵測方法之流程圖，如圖 9 所示。不同的二值化方法為基礎的地板偵測方法的實驗比較結果，如表 3 所示。從表 3 的實驗比較數據可以看出，相較於 Otsu 動態二值化方法為基礎的 EdgeLine 地板偵測方法 [21] 與 Moving average 二值化方法為基礎的 EdgeLine 地板偵測方法，本計畫研發與實作自行創新提出的 Canny

二值化方法為基礎的 EdgeLine 地板偵測方法的地板偵測正確率最高且執行時間不會太久。

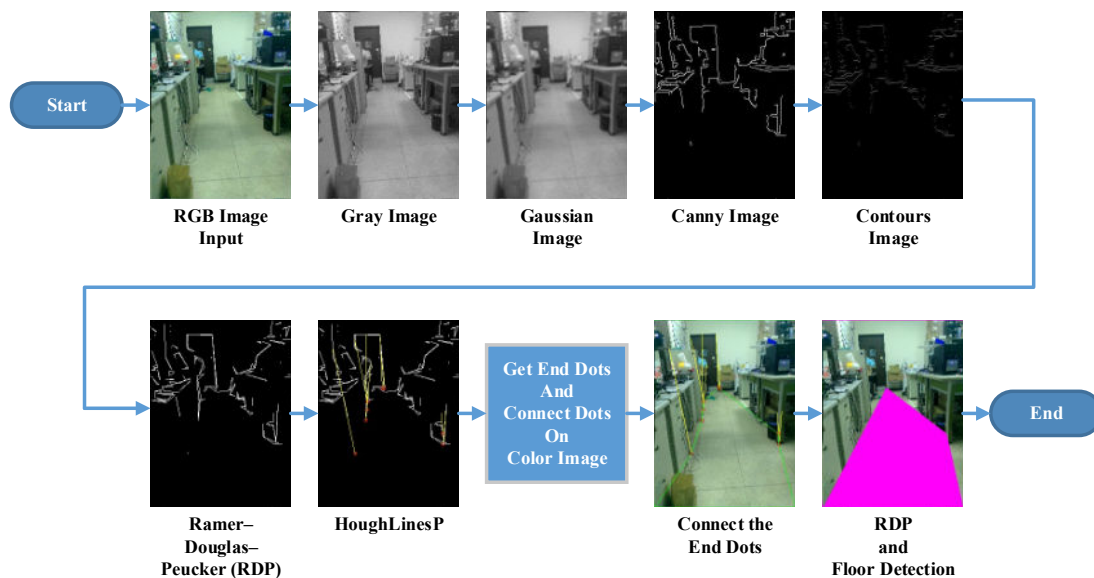


圖 9：基於 Ramer-Douglas-Peucker 的 EdgeLine 地板偵測法

表 3：不同的地板偵測方法的偵測準度與執行速度之比較

	每秒執行畫面數	正確率
<b>Canny + EdgeLine</b>	<b>6.22 幅</b>	<b>88%</b>
Otsu + EdgeLine	7.19 幅	40%
Moving average + EdgeLine	2.85 幅	65%

## 六、在 AR Alarm 階段

透過 Vuforia 擴增實境開源程式庫，其軟體發展工具架構如圖 10 所示，在行動裝置上，完成以圖像化方式顯示核設施除役工作環境中，原本肉眼所無法看見的放射性活度與輻射暴露量的彩色圖像與分佈狀況於工作場景中的地板上，以警示危險區域，如圖 11 所示。

## Vuforia SDK

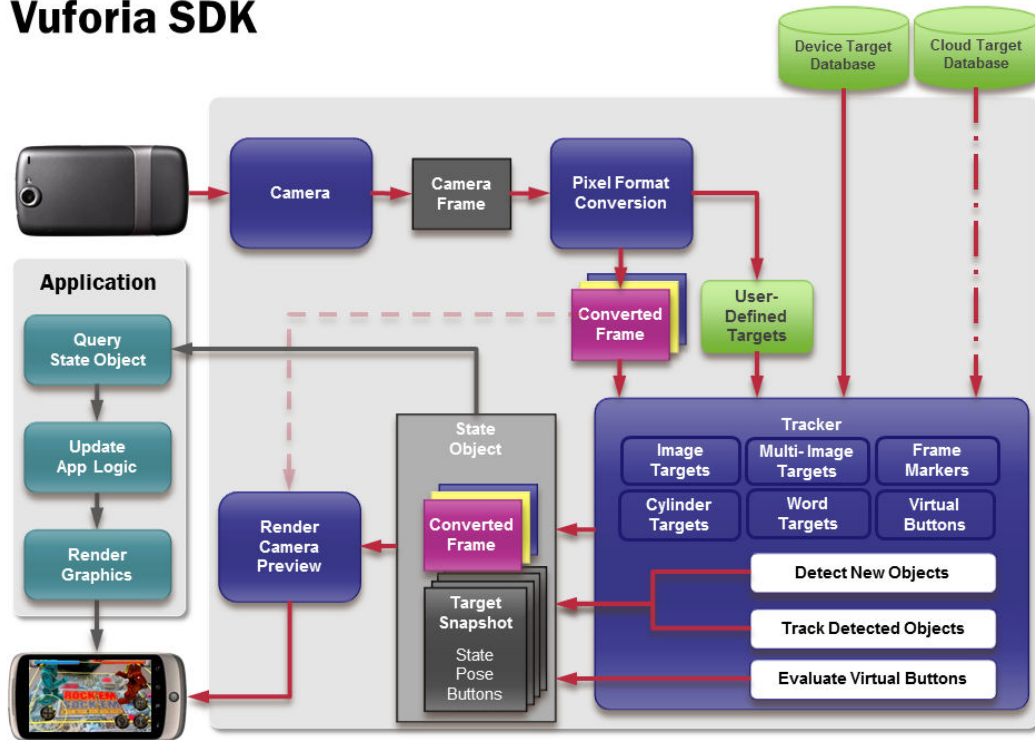


圖 10：Vuforia 擴增實境開源程式庫的軟體發展工具架構圖

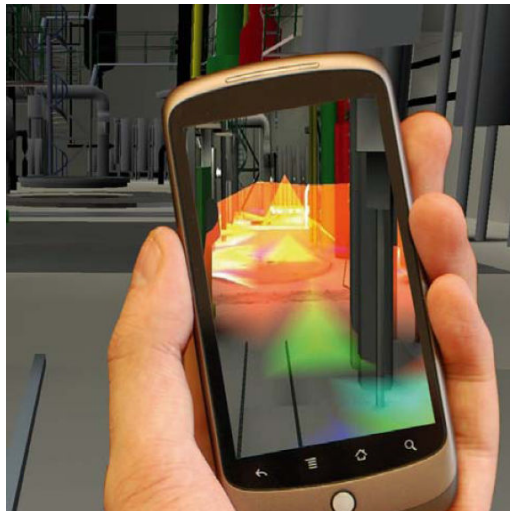


圖 11：在行動警示裝置上顯示輻射暴露量的彩色圖像與分佈狀況

本計畫在今年度完成的重點工作項目與未來的發展應用目標

如下：

- 一、發展並整合 RFID 與 QR code 二種感測辨識技術，建立適用於核設施拆解工作環境的感測辨識室內定位技術；
- 二、在行動裝置平台上，研發感測辨識室內定位技術，無線傳輸取得遠端資料庫的資訊，並且能即時地執行擴增實境來顯示與警示工作環境中的輻射量等重要資訊；
- 三、建立之技術後續可結合虛擬實境與擴增實境技術，應用於核設施之維修與除役工程中。經由數位工程模擬規劃或現場資訊的提供，輔助作業執行及安全提升；
- 四、完成感測辨識技術與擴增實境技術在行動裝置上的實作，並將研究成果與傳統感測辨識技術進行分析與比較，以提供工業應用與教育訓練使用；
- 五、提供核設施除役工作環境所需的行動警示裝置，包含：1) 室內定位；2) 警示危險。未來將可以再應用更複雜的虛擬實境技術，以完成更完整的核設施除役工作環境之行動導航裝置，包含：3) 地圖繪製；4) 路徑規劃。

## 肆、参考文献

- [1] G.-Y. Jin, X.-Y. Lu and M.-S. Park, “An indoor localization mechanism using active RFID tag,” *Proceedings of IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*, vol. 1, 2006.
- [2] A. Errington, B. Daku, and A. Prugger, “Initial position estimation using RFID tags: a least-squares approach,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 11, pp. 2863 –2869, 2010.
- [3] R. Tesoriero, J. A. Gallud, M. D. Lozano, and V. M. R. Penichet, “Tracking autonomous entities using RFID technology,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 2, pp. 650–655, May 2009.
- [4] S. Ma and Y. Shi “A scalable passive RFID-based multi-user indoor location system,” *Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 1–4, 2011.
- [5] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, “A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks,” *IEEE Communication Surveys and Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13–32, 2009.

- [6] L. M. Ni, Y. Liu, and Y. C. Lau, "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID," *Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp.407–415, 2003.
- [7] Y. Zhao, Y. Liu, and M. N. Lionel, "VIRE: active RFID-based localization using virtual reference elimination," *Proceedings of International Conference on Parallel Processing*, pp.10–14, Sep. 2007.
- [8] S. A. Golden and S. S. Bateman, "Sensor measurements for Wi-Fi location with emphasis on time-of-arrival ranging," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, pp. 1185–1198, Oct. 2007.
- [9] A. Baniukevic, D. Sabonis, C. S. Jensen, and H. Lu, "Improving Wi-Fi based indoor positioning using bluetooth add-ons," *Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Data Management*, vol. 1, pp.246–255, 2011.
- [10] D. Kim, M. A. Ingram, and W.W. Smith, "Measurements of small-scale fading and path loss for long range RF tags," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no.8, pp. 1740–1749, Aug. 2003.

- [11] J. Hightower and G. Borriello, "Location Sensing Systems for Ubiquitous Computing," *Computer*, vol. 34, pp. 57–66, Aug. 2001.
- [12] G. Welch and G. Bishop, "The Kalman filter," [Online]. Available: <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/>
- [13] R. K. Mehra. "On the identification of variance and adaptive Kalman filtering," *IEEE Transactions on Automation Control*, vol. 15, pp 175–184, Apr. 1970.
- [14] A. Bekkali, H. Sanson, and M. Matsumoto, "RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and Kalman filtering," *Proceedings of IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pp. 21–27, Oct. 2007.
- [15] C. Lee, Y. Chang, G. Park, J. Ryu, S. Jeong, and S. Park, "Indoor positioning system based on incident angles of infrared emitters," *Proceedings of Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 3, pp. 2218–2222, 2004.
- [16] H. Yucel, R. Edizkan, T. Ozkir, and A. Yazici, "Development of indoor positioning system with ultrasonic and infrared signals," *Proceedings of International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, pp. 1–4, 2012.
- [17] S. Holm "Airborne ultrasound data communications: the core of an indoor positioning system," *Proceedings of IEEE Ultrasonics*

*Symposium*, vol. 3, pp.1801–1804, 2005.

- [18] X. Jiang, Y. Liu, and X. Wang, “An enhanced approach of indoor location sensing using active RFID,” *Proceedings of WASE International Conference on Information Engineering*, vol. 1, pp. 169–172, 2009.
- [19] E. Onur, C. Ersoy, H. Delic, and L. Akarun, “Surveillance wireless sensor network: Deployment Quality Analysis,” *IEEE Network*, vol. 21, pp. 48–53, 2007.
- [20] Q.C. Tian, P. Quan and Y. M. Cheng, “Fast algorithm and application of Hough transform in iris segmentation,” *Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 7, pp. 3977–3980, Aug. 2004.
- [21] N. Otsu, “A threshold selection method from gray level histogram,” *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, vol. 9, pp.62–67, 1979.