

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

核能級控制器設計規範研究
**Investigation of Nuclear Grade Controller
Design Specification**

計畫編號：1002001INER024

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：盧志文 教授

聯絡電話：03-5715131 轉 34305

E-mail address：cwlu@mx.nthu.edu.tw

核研所聯絡人員：陳昌國

報告日期：100 年 11 月 30 日

目 錄

目 錄	i
中文摘要	1
Abstract.....	2
1. 前言	3
2. 抗輻射原理與方法	4
2.1 初步方法	4
2.1.1 分割	4
2.1.2 維護與修理	4
2.1.3 屏障	4
2.2 抗輻射策略	5
2.2.1 修正架構	5
2.2.2 創新架構	5
2.3 選取元件	5
2.4 抗輻射電路設計	7
2.4.1 選取元件:設計者必須在成本與抗輻射程度之間抉擇	7
2.4.2 抗輻射設計:一個抗輻射設計，不代表他元件可以完全抵抗輻射	8
3. 建立核能級控制器設計規範以高抗輻射機器人為例	9
3.1 使用於核能發電廠維護與檢驗之機器人	9
3.1.1 機器人發展	9
3.1.2 典型應用在蒸汽產生器檢查和清潔的機器人	11
3.1.3 清理機器人與報廢機器人	16
3.2 使用於核能災變之應變機器人	23
3.2.1 德國 RescueRobots Freiburg 救災機器人	23
3.2.2 德國 Hector Darmstadt 救災機器人	26
3.2.3 泰國 iRAP_PRO 救災機器人	30
3.2.4 澳洲 Team CASualty 救災機器人	32

3.2.5 日本 Pelican United 救災機器人.....	35
3.2.6 中國 RedSun 救災機器人.....	37
3.2.7 伊朗 PARS 救災機器人.....	39
4. 抗輻射電路設計實例	43
4.1 A MSFT with TMR Technique.....	43
4.2 Novel Inverter	45
5. 結論	46
參考文獻	47

中文摘要

本篇報告利用核能級控制器，研究用於核能環境的機器人之設計與材料組件，由於要設計如何在核能環境的機器人，首先得知道抗輻射的原理，所以第一段首先簡敘抗輻射的原理及方法。接著第二段，吾人介紹目前世界上使用於核能環境的機器人，找尋目前機器人的控制器如何設計。包括使用於一般核電廠的維護與檢測之機器人，以及使用於核能災變之應變機器人。第三段即針對高抗輻射機器人內部所可能使用到的電路原件提出新的抗輻射電路設計，包括一個多極串接容錯乘法器，以及一個新的邏輯反向器。最末段吾人根據本篇報告做一個簡單的結論。

關鍵字：高抗輻射機器人。

Abstract

In this report, the radiation principles and methods are introduced at the first paragraph. At the second paragraph, the robots using in the nuclear environments of the world are discussed in detail. There are two kinds of robots. Robots used to maintain and test the nuclear power plants and rescue in the nuclear disaster of the strain. Third paragraph, two radiation harden circuit including A MSFT with TMR Technique, and a new logic inverter which are used in the high radiation robots are proposed. Last paragraph, we make a brief conclusion of this text.

Keyword: high radiation robots.

1. 前言

日本 311 強震後接連傳出福島核一廠氫爆，周邊地區也陸續測得超標核輻射值。為了避免此次災後再度發生，因此整個核能發電廠的控制系統以及機器人設備必須加緊的計畫，達到發生災難以及未發生災難前的控制，使得進去廠房可以利用機器人代替，達到安全上的考量。

我國電子產業在全球有舉足輕重的地位，但我國在數位式核能級控制器之設計尚在起步階段。本計畫之執行期能對我國核能級控制器建立設計規範，作為台灣自主型核能級控制器的研究與開發之參考依據，並期能對數位式核能級控制器之設計提供多樣性的選擇。

本計畫以核能電廠使用之高抗輻射機器人為例，深入探討高抗輻射機器人之抗輻射原理與設計方法，以此為基礎建立符合安全法規與標準之核能級控制器設計規範，並規劃核能級控制系統測試與驗證程序有效率的方法。計畫中並以實作兩個應用於核能級控制器中的高抗輻射電路包括一個以三模組備援 (Triple-Modular Redundancy, TMR) 技術為基礎的高抗輻射多級容錯控制器，以及一個可抵抗 SET (Single Event Transient)，和 SEU (Single Event Upset) 事件的新式反向器為例作為說明。

2. 抗輻射原理與方法

為了要設計高抗輻射機器人與系統，首先必須得知道有哪些抗輻射的原理與方法，才得以設計。

2.1 初步方法

2.1.1 分割

這是一種最簡單的方法，直接將核心系統遠離核輻射的範圍，運作的機械零件，暴露在輻射，但相關的電子產品保護，在一個沒有輻射的地區，再利用線材將兩端連起，這技術非常有用當電子系統可以遠離或者切割。而其中要特別注意的是連線的線材，數量以及長度。因為在線上通過的訊號很可能受到雜訊的干擾造成錯誤。現在許多機器人都是使用此方法，因為確實可以防止控制端之電子元件遭受輻射干擾，但因為纜繩會造成機器人的行動不方便，所以這也是積極發展的部分，但即使先進的機器人還是沒有解決此樣問題。

2.1.2 維護與修理

利用硬體去改善核輻射造成的影響，成本是非常的高。在許多時候，系統故障時，維修會比整套更新來的更好，就能工業用的 CCD 鏡頭舉例，比起強化他的鏡頭，由於價錢與成本的考慮，更適合利用不斷替換鏡頭來的。另一方面，為了節省維修的成本，減少硬體曝露在核輻射範圍是個很好的方法。每次記錄下發生的錯誤，可以比較容易評估設備的壽命。

2.1.3 屏障

屏障有一方法，用來保護電子元件不會受到光仔束造成的影響，是利用屏障效應。而最好的金屬屏障是鈾，但因為鈾牆

會特別厚且不適合大部分移動型的機器人，所以最常使用的都為鉛與鎢。

2.2 抗輻射策略

2.2.1 修正架構

如果是要修改舊有的電路設計，首先要找到對於原始電路損害最嚴重的區塊。再來，要找到比較節省成本的測試每個元件在電路內，要找出每個元件在輻射底下造成的參數變異，此部分會最為耗時。而另外一種修正方法為，檢測各個元件互相影響的情形，一個元件錯誤不代表整個系統會損毀，因此找出各個元件互相影響的關係也顯得非常重要。當發生錯誤的時候，找出破壞整個電路設計的元件，並且取代他，將他改為抗輻射元件也是個很好的方法。

2.2.2 創新架構

如果是要創新電路設計，達到高抗輻射電路設計的話，此時設計者可以自由使用合併高抗輻射元件，當然整個設計最重要的就是，抗輻射程度。如果設計出來的電路，不能達到抗輻射規格，則必須修改，當然這需要不斷的重複設計，才可以達成。另外一種方法是利用 SPICE 軟體，做出模擬的結果，這樣可以節省許多成本，SPICE 可以模擬許多情況下電路的表徵，包含電路偏壓，溫度變異，製成漂移...等等。而要開發創新電路的設計者，則必須對於許多電路都得了解，包含數位，類比，電源積體電路設計了解。

2.3 選取元件

抗輻射元件並不是商業規格，但其實抗輻射元件的製程與

普通商業用得極為類似，甚至連封裝，偏壓，電流，功率都與普通商業用的元件一樣，唯一不同的是，在生產的時候，抗輻射元件的測試與保修，還有價錢不同。在價錢部分，抗輻射元件比起普通商業用的貴上許多。

抗輻射元件的優點與限制，最大的好處是製程公司已經把所有參數訂定出來，所以可以放心的使用，不需要在自己測試，且這些參數，製程公司都會給予保證。如果今天設計出現問題，責任也會從設計者轉移到製程廠。換句話說，抗輻射元件可以帶來許多幫助給設計者。

但不幸的是，抗輻射元件的設計限制會比較多，由於抗輻射元件並不給是給予核能發電廠使用，最初的設計是給抗 GAMMA 射線，並且由於抗輻射元件的需求是很小的，所以提供的製造廠商也不多。如果要開發一個全新的抗輻射元件的話，會需要大量的資金，所以其實能使用的元件，種類是非常的少。每個元件其實只有幾種模型可以選，如果發生與規格不符合的時候，通常是無法解決的，因為模組實在是很少。除此之外，由於最接近核能廠所能使用的元件通常為軍規元件，此類元件通常設計是為了在很冷的戰爭區域使用，製程也是使用較古老的製程，如果想要有更好的效能會比較困難。而也因為冷門，許多製造廠商已不再製造，零售商就會把價格抬高。因此種種原因使得，其實抗輻射元件變成成本很高，設計上有許多限制。

若使用一般市售元件(COTS)的話，一般普通市售元件，即為大部分設計電路者使用的元件，並沒有所以抗輻射的功用，

但卻取得非常之容易。

COTS 元件有許多的優點，第一個，比起抗輻射元件價錢非常的合理。第二，有大量的測試元件可以使用，因為其為大量生產，且模組也比較多樣化。第三，隨著製程的進步，COTS 元件也會跟著進步。雖然 COTS 元件不是設計給抗輻射專用，但這也僅僅表示此元件不能抗輻射，但若要認定一個系統出問題，並不是一個元件出問題就代表整個系統已毀損，所以經過一些設計手法，可以達到單元件毀損，而系統卻不致於會毀損的情況。而且 COTS 元件，可以比較好設計系統，因為他的種類許多，且市面上已非常之成熟，有許多的資料庫可以採用，達到抗輻射系統。

若利用 COTS 元件設計抗輻射電路，要特別注意幾個方面，首先由於 COTS 元件並沒有所謂的抗輻射規格，所以需要自行去測試抗輻射程度，並且自行開出資料庫，方便下次使用。再來，由於製程廠商的變異性很大，所以當每次找不同的公司製程，或者找不同的製程技術，都會有不同的抗輻射程度也是要特別注意的。因此面對此樣的問題，必須注意測試的部分，同一批進來的晶片，做出來的測試結果僅符合此批進來的晶片。

2.4 抗輻射電路設計

不論電路是要重新設計或者創新設計，以下幾點都是抗輻射電路設計所需要注意到的地方。

2.4.1 選取元件:設計者必須在成本與抗輻射程度之間抉擇

MOS 是非常有效率的在設計系統上面，但他對於抗輻射是非常的脆弱的，而抗輻射元件，雖然有抗輻射的成效，卻因

為成本以及模組的種類限制，所以也不是方便。而 JFET 與 BIPOLAR 是個不錯的選擇因為它們提供可接受性能與抗輻射能力。

2.4.2 抗輻射設計:一個抗輻射設計，不代表他元件可以完全抵抗輻射

抗輻射設計，不代表元件可以完全抵抗輻射所造成的影響，但是對於整個系統來說，卻可以抵抗輻射所造成的影響，使得系統受到輻射時，系統可以穩定的操作。其中最常使用的方法為回授，利用偵測並且回授，達到系統穩定的操作，對於線性系統可以利用操作放大器來達到回授的效果。

3. 建立核能級控制器設計規範以高抗輻射機器人為例

因應核能發電廠之設備維護與檢驗與災後發生時的應變機器人，兩大部分討論。

3.1 使用於核能發電廠維護與檢驗之機器人

3.1.1 機器人發展

西蒙(半智能移動觀測導航移動機器人):

1990 年開發出第一隻機器人做能源監測，目前西蒙的設計有三方面要求，第一避免需要人為檢查核設施。此機器人被要求量測輻射，測量溫度和轉播該地區狀況。西蒙配備了三輪的基礎 Cybermotion K2A 機器人輻射探測器，溫度傳感器和攝像頭安裝可伸縮式桅杆。定位設備由光學編碼器在電機上和車輪，紅外射線和超聲波脈衝來確定的相對位置其基座，聲納和保險槓防撞。西蒙的導航功能通過預編程的路徑或是控制，像是走進一個房間，手動執行其監測任務。一個計算機程序編排的預編程的路徑例如“分派”。超高頻無線電通信（UHF）的主機鏈接電腦機器人。一旦下載“分派”，西蒙仍然可以運行，如果無線鏈路是超出範圍。在西蒙使用的電子元件選擇三機載計算機管理機器人的資源。，因為其自然耐輻射性。使用這種設計方法的合理成本反映在在實現 200 戈瑞（20 krad）總劑量輻射硬度。可靠性也增強了自我診斷能力。西蒙於 1994 年獲得了美國專利。

機器人 MACS:

移動自動特徵分析系統，1996 年作為第二代機器人西蒙，目標是去污和報廢核設施的污染目的。這個任務是自動執

行，工人配備可攜式探測器並以機器人可靠的方式相比，。MACS 是高度敏感的配備探測器和傳輸主站立即劑量資料。數據測量被納入稱為 RadMap 一個接口，它產生一個顏色編碼影像的污染。

機器人白羊座(自動機器人檢測實驗系統):

是一個南卡羅來納州大學開發為能源部的機器人，能源部儲存數千個包含低層次的鋼桶放射性廢物。鐵桶堆放和儲存在長的走道。每週檢查包裝的完整性是必需的。這項工作是乏味和長期暴露是無可避免的，雖然輻射水平不危害工人。白羊座的目標是要找到每個鐵桶堆存放儲的位置和執行目視檢查，發現油漆泡水，生鏽地區或任何集裝箱上其他標誌的退化。由於位於每一個條碼的鐵桶，可更新其數據庫，包含了所有的鐵桶週期。當發現損壞的鐵桶，就重新包裝。ARIES 是後斯瓦米機器人開發（存儲廢物自治區移動督察），斯瓦米的目的是相同的應用程序在美國能源部的薩凡納河網站 ARIES 的機器人。兩個機器人有相當類似的功能，但是 ARIES 是現代和更複雜的。ARIES 使用 K3A 移動平台製造 Cybermotion。這個平台，一個精心製作的聲納和輕型導航系統，使機器人在一個狹窄的地道鐵桶地方的導航。相機定位系統（CPS）是一個模塊，每個鐵桶的特點。該模塊包括一個攝像頭，條形碼掃描儀。每當白羊到達前鐵桶的地方，CPS 的延伸和兩個鐵桶的照片。上板然後計算機處理的圖像和更新數據庫，而模塊向上移動未來的鐵桶。一旦棧完全檢查，機器人則移動到下一個棧或碼頭，主要缺點:現行制度是低鐵桶調查的速度，由於電池問題，

它允許只能有一個，三次的檢查，預估可檢查萬個鐵桶。

3.1.2 典型應用在蒸汽產生器檢查和清潔的機器人

機器人 CECIL（聯合愛迪生聯合檢查和採血）：

專為蒸汽產生器的維修，如圖一所示。它被限制用來清潔蒸氣底部蒸汽產生管板和第一支撐板之間。邁克爾萊因哈提供了一個 CECIL 設置明確的使用方向，“CECIL 4 乘坐軌上通過蒸汽發生器檢查口安裝。該機器人可以縱向移動沿導軌組件和擴展和一個靈活的槍口。此槍口可帶動 U 型管列和機器人之間可以旋轉關於它的軸的位置，上述管束的管板內的任何一點，下面的第一個支持板。水射流引入這些柔性長矛的方式和管束，機器人的每桶噴霧劑。柔性噴管插入噴的傳輸機制噴嘴和視頻探頭深入到管束。“遠程控制系統由安裝在低輻射區一個工作站。操作人員可以監視和控制實時機器人和槍的位置。在這個過程中所用的水是不斷抽取和處理，以減少廢物體積。有幾種類型長矛是可用的，每一個不同的任務。其中最有趣的組槍是清洗的污泥，但不用於查找和刪除小物件，不慎丟失深管束。這些情況可能造成顯著的損害領先的微動洩漏，必須拆除。FOSAR（異物搜索和檢索）槍配有四個拼殺工具之一來檢索這些對象。該系統已成功地展示了幾次。

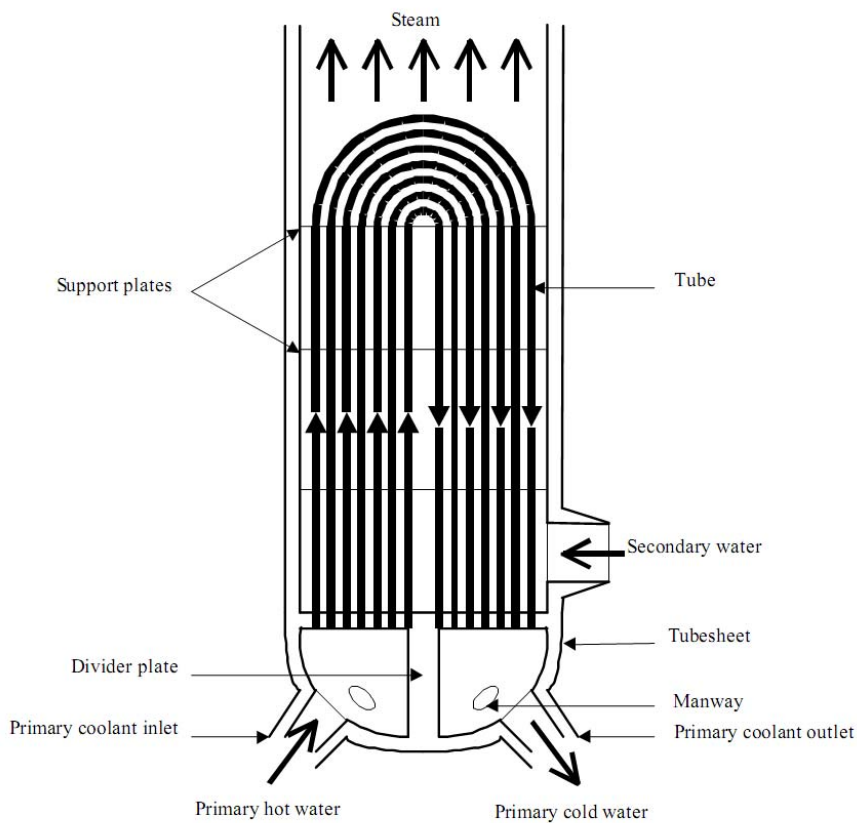


Figure 1: Internal structure of a steam generator

圖一 蒸汽產生器

機器人 UBIB 和 UBHC（在 1996 年推出液壓清洗）：

跟 CECIL 系統比，這些機器人提供更好的清潔度和檢查效率。CECIL 機器人是有限制區域在管板和第一支撐板蒸汽產生器，而 UBIB 和 UBHC 機器人可以進入上部區不用在殼內鑽孔。UBIB 是在上束在上束檢測系統，專用於遠程蒸汽產生器的視覺檢查。“UBIB 系統安裝，像是塞西爾，通過在底部蒸汽產生器的手孔，它的桅杆延伸到上游地區。放在最後一台攝像機然後檢查。一台蒸汽產生器的一個完整的檢驗要在一天內完成，並提供清洗過程的資訊。該 UBHC 機器人是 UBIB

機器人清洗版本。UBHC 部署和 UBIC 相同的模式除了一個攝像頭和照明系統配備了 20 噴嘴。這些強大的水射流提供了在 3000 PSI 加侖的水每分鐘 70 的速度，而設備的位置是安全的支持水囊膨脹。完整的清理行動持續兩天或更少，如果沒有一個 UBIB 以前檢查需要一個完整的捆綁清洗。在位於位於控制站的操作員低劑量區進行遠程控制的檢查和清理操作。蒸汽產生器內部和機器人的位置實行即時監控。該系統還提供了許多安全功能，在出現問題時停止。同時在 UHBC 和 UBIB 系統目前用於治療西屋型號 44，51 和 F 蒸汽產生器。UBHC 1999 年 2 月以來已經商業化，並已在以上 4 個國家成功地完成了眾多的清潔行動。

一個在歐洲核子研究評估職業輻射照射反應堆發表，在壓水堆經歷的最高劑量（加壓水電抗器）蒸汽產生器的是主要須共同努力的，中位數的曝光值超過 200 人毫西弗。大部分 the17 工人接觸過程中發生的檢查和清洗設備的安裝，所以需要遠程進行維護，。因此，主要是由工人收到的總劑量的數量成正比。蒸汽產生器的維修時間，而不是永遠開著的。主要在維修過程中暴露的貢獻來自安裝和在蒸汽產生器的噴嘴水壩拆除。在蒸汽發生器的劑量率高：從 50 毫西弗/小時至 250 毫西弗/小時。噴嘴水壩安裝在進氣口，出口蒸汽發生器的噴嘴淹沒在主迴路隔離加油。這一特定任務的機器人替代工人減少人員接觸。至少有兩個系統已設計，以滿足本挑戰。這兩種系統都使用遠程控制機器人定位在通道首。從最早的設計，幾個攝影機和燈光安裝在機器人上，使操作員可以非常精確地控制機械臂。該機

器人是位於蒸汽產生器外，通過人為的方式。噴嘴大壩精心定位的手臂和用螺栓固定。在 1991 年該方法已成功地測試了幾個處理機器人與液壓機械臂，與羅姆人（遠程操作機械臂）的機器人在 1990 年和羅莎在 1992 年第三機器人。一個搬運機器人已經過時了，由於系統由福斯特-米勒開發，測試和設計。機械臂是可以避免的，因為在蒸汽發生器的底部是一個龐大的機器人運動困難，因為安裝的複雜性，需要訓練有素的人員。這個新的機器人背後的想法是專門設計安裝了一個系統噴嘴大壩。在這個系統中的大壩是完全集成在機器人提供更快安裝。獨特的錨桿支維護系統，適合機器人和 A18 大壩更快，更安全的操作。該機器人可用於在任何現有的噴嘴和安裝，無需人員進入蒸汽產生器。操縱系統與以往的設計相比大大簡化了，不需要大量經營者的培訓。福斯特-米勒成功地在樣機測試這個機器人 1994 年，已顯示出顯著的風險，並減少關鍵路徑的時間。一旦噴頭安裝和大壩安全檢查或維修初級側的蒸汽產生器就可以開始。渦流探頭執行檢查管內。該探頭由機械臂送入管從底部的冷或熱的管束腿的機器人。惡化槍管或洩漏的情況可以被記錄下來。最具挑戰性的操作是清潔管內。當反應堆工作時，內部積聚通過蒸汽產生器管，增加流動阻力，降低總過程中的效率。化學清洗方法包括注射一種化學品注入和化解堆積的解決方法。這種技術產生的大量混合廢物，是不可取的。SivaBlast 機械清洗系統西門子是一個獨特的解決方案，是清潔，高效的。其原理很簡單：珠鋼炸開從初級側的冷站，並收集廢物。一台發電機提供的壓力爆破噴嘴，真空工具接收

珠和取料機從碎片中分離出來的珠子。這種真空工具避免任何污染，如灰塵和小廢物。分離的珠子然後在洗淨，重用。這種方法已經用在非核應用。

第二個挑戰是每個管的遠程，清理所有 3550 管包含在一個單一的蒸汽產生器，如期的一個一個 strong19 的機器人靈巧可以解決的第一個挑戰。我們的目標是把所有管和冷腳其相應的熱腳結束。最初，Telbot 機器人使用在此，則其 Flexivera 操縱系統。這兩個系統的描述是在下一段。第二個挑戰是提高清洗的速度操作。該軟件 ROBCAD 是一個程序，優化機器人路徑規劃。此方法允許更快的清洗操作，因為機器人清除所有的管對應的 ARM 配置。最後，爆破工具的設計發展到包括兩個噴嘴。機器人接口包括一個用戶界面來控制的機械臂，一個 ROBCAD 基於仿真系統，和多個監視器到遵循操作。運營商的角色，極大地簡化了高度由硬件和軟件提供的自主權。三相機設置提供了許多清潔行動的意見；蒸汽發生器的意見的人的方法，意見兩個冷熱兩側的蒸汽發生器，真空和爆破工具的意見。這 SivaBlast 系統已通過測試點 Lepreau 電廠於 1995 年：從 8209 管 787 公斤存款。一個描述幾個機械手臂，主要用於蒸汽產生器檢查或維修。羅莎 III 機器人的演變成 ROSA I 和 II 型。這個機器人是一個遠程控制的維護和檢查機器人。羅莎第三機械手臂可以配備的工具通用工作。然而，它主要用於蒸汽發生器的操作通過沙井端口，以減少人員接觸。控制站由一個高度圖形界面，允許最大的靈活性，為運營商帶來便利。ROSA 的三從西屋電氣。眼鏡蛇系統是專門設計 to20 提高維

護效率，並減少工人進入一台蒸汽產生器內人員的接觸，。它是一個輕量級的電動機械臂檢查和維修較低的管片。眼鏡蛇測試是 1992 年和部署 B&W 的核服務。Telbot 機器人是一個 6 度，自由度的機械手臂無法為人類領域的應用開發。它的主要優點是其極大的靈活性;每個臂可旋轉 360 度不斷。沒有電組件，既不是電纜，也不是在其手臂的馬達。所有敏感的元素在保護的基礎，包含驅動電機，傳動齒輪，編碼器和電纜。在蒸汽發生器維護中，手臂是通過人為的方式，而安裝基礎仍然之外。控制櫃可與位於此基礎上，或在更安全的領域。Flexivera 操縱系統是專為蒸汽發生器的操作。它體積小，重量輕，易於安裝在蒸汽發生器碗。位於由計算機系統控制四軸機械臂外輻射區和連接電纜 Flexivera。這是現在最初級側的蒸汽發生器的檢查和維護高效的機器人。

3.1.3 清理機器人與報廢機器人

表面清理

儘管不斷的照顧和核設施設備的維護，它還是可能發生放射性污染物溢出，必須拆除。往往很多機器人需要接觸與淨化後的一些設施和硬件在操作過程中的放射性污染物需要報廢。在大多數情況下，洩漏足夠小，工人受手機屏蔽設備和清理洩漏。然而，需要以減少人員接觸和 ALARA（低至合理可行）的概念正在推動清潔機器人的使用和除污工作。傳統上，通用的機器人或特製的機器人以及清潔機器人根據清洗需求和污染設施清除。。下面給出幾個例子：

專門設計一個主僕機械手已經清理被水淹沒 放射性廢

物區九湮點。清洗操作要求來刪除包括木桶所有被污染的材料和淨化面積可接受的水平。名為 T R O D 的一個機器人（栓系遠程操作設備）組成遠程機器人 6 自由度和 2 米的伽瑪 7F 達到了特別 RedZone 機器人製造的規格。這是安裝在一個可移動的機械手臂，現有的輸送系統導航污染區固定在房間的天花板。這種導航方法提供了更大節省消耗和更好地比地面車輛的機動性。由一個控制者來操作伽瑪 7F 主僕機械臂是液壓動力和控制，其輻射阻力比 $10 e - 5$ GY 更大。從手臂複製六個動作度的自由主臂。即使沒有力反饋，主 ARM 的設計增加了操作的舒適性和效率。踩出系統在 1990 年部署了 7 個月。它完成了許多任務，包括消除碎片和鐵桶，以及洗消牆壁和地板。在 1180 和 1960 間代替人員接觸和高效率使用和保存。清潔操作很少需要特製的機器人，就像前面的例子。在大多數情況下，商業機器人是足夠的，有時一些修改。這是安德羅馬克 VI 機器人在清理放射性罐噴嘴薩斯奎漢納核電廠。在這種情況下，機器人被引入到一個廢物處理罐含有放射性樹脂，其目標是拔掉一個流與高壓水混合噴嘴。Remotec 生產安德羅機器人以及其他一般用途的機器人。這個移動平台包括 6 個音軌，一個 16 公斤的最大負載和兩個攝像機的機械臂。獨特的設計軌道允許安德羅在非常不平坦的地面上移動。該 control32 電子產品的安裝板，密封的主體。無輻射硬化必需的，因為水箱中的劑量率 0.03-0.05 GY/h 的低操作員，通過長期和靈活的電纜控制的安德羅。該電纜包括控制線和視頻信號，但沒有電源線，因為機器人攜帶自己的電池。安德羅進行了修改這個應用

程序。一旦噴嘴被拔掉，進行測試檢查。然後機器人拆除和去污。這安德羅的應用是成功的，降低從 30 毫西弗至 4 毫西弗的人員接觸。此應用程序導致維修費的下降和時間下降，再加上現在可以在其他應用程序使用的安德羅工廠報廢：

隨著許多核設施達到了他們的一生結束，報廢以後的價值是優先考量的。減少僱員暴露，降低成本的需要和遠程工具的使用減少受污染的部分一旦核心要素被刪除，可以建設的其餘部分報廢設施是典型的方式完成。典型報廢政策是拆除從上到下的大結構，然後拆卸線運輸的組成部分，然後切成小塊，並包裝。例如，拆解在德國 Niederaichbach 電廠遵循以下步驟：拆解上中子屏蔽，壓力管單位的搬遷，拆除低 neutron44 盾，主持人船隻拆除，拆除熱盾。“愛達荷國家實驗室開發的計算機為基礎的規劃系統，稱為 DDROPS（去污，退役，和整治優化規劃系統），計劃和優化退役操作。因此，提高機器人的途徑是生成和減少人員接觸導致節省時間和金錢。遠程拆解是一個非常困難的操作遠程操作。這些運營商需要準確機動使用的微妙工具視頻屏幕或有時儘管厚厚的含鉛玻璃窗口。他們沒有了直接的“感覺”像任何其他工人的工具。在這些條件，甚至擰下一個螺栓要求所有經營者的靈巧和濃度。報廢設施是一項長期的工作運行。遠程設備不斷上運行工作了很長一段時間。為了避免額外的費用和過多的維修時間，機器人必須強大和容易更換的現成零部件。切割，鋸，鑽金屬小零件，特別是在拆卸線，可通過修改過的，現成的工具。這意味著，必須持有武器增加以及攝像機和參數，如單位的電流，電壓或液壓監控。

移除元素，直接從反應堆現有的技術實現，結構過於具體。一個沉重的責任拆解，機器人必須被設計成這樣，以確保高效率和可靠的遠程操作。在退役 Niederaichbach 單位，以下遠程工具的開發工作。主要的發展是一個旋轉的機械手，可以使用 63 配置之一或工具拆除反應堆內。起重機的機械臂設計刪除旋轉機械臂拆卸的部件和運輸他們到拆解線。環鋸，位於下反應堆壓力容器，切割和經營旋轉機械臂拆除的圓柱形鋼主持人船。在阿岡國家實驗室的 CP-5 的研究反應堆的退役國家重點實驗室在 1997 年不同的想法。當時的想法是使用相同的操控上不同的平台。這一系統被稱為雙手臂工作模塊 (DAWM)，它包含兩個泰坦 II 安裝在 5 度的自由銜接平台。DAWM 模塊可以安裝在地面移動車輛，或暫停開銷熱潮或起重機的一個平台。這最後配置是用於 CP-5 反應堆，並更名為雙手臂工作平台 (DAWP)。在 CP-5 的情況下，該平台是由起重機暫停使用泰坦 III 造輕鬆去污。DAWP 機器人進行了完整的拆除反應堆。它的運作還涉及到切割的金屬部件和去除石墨塊和鉛磚。DAWM 和 DAWP 平台包括 5 基於 UNIX 開發系統的機載計算機。幾個相機提供了一個良好的機械臂操作。電子設備無一個輻射硬化的要求。束繫繩包含電源，信號和控制線。控制室是位於一個低放射室，顯示器，圖形接口和操縱桿和開關協助操作。退役 CP-5 反應器已成功完成與 DAWP 系統。主要區在未來的應用程序的改進是用戶界面，這是一個漫長的關鍵退役一樣的操作。一個類似的系統是計劃遠程拆解在德國卡爾斯魯厄乏燃料後處理設施。在此建設，several46 熱細胞是從頂部訪

問。雙主/從 ARM 系統由支持起重機將在熱室，直至完成退役。這個系統是所謂的機械臂載體系統 (MCS)。機械手臂是兩個機電主從造 (EMSM) 8 自由度，負載能力為 100 公斤，達到 2.8 米。有幾個工具可以為 EMSM：

剪切，研磨機，鋸，鑽孔機;噴去污和輻射探測器。該裝置還支持攝像機，麥克風和其他測量設備。所有 MCS 和起重機的主要單位是多餘的，以避免需要干預污染環境。本設備已經改善，期間和之後，現實測試在一個模擬的設施進行了從 1995 年至 1997 年。實際拆遷熱設施將在 2003 年實現。以上所述的機器人設計拆除反應堆壓力容器的複雜的工作。要求有一個跟踪基於挖掘機操縱瓦礫以及有效的方式。這輛車是類似商業挖掘機，它所需的功率和效率。一個操作員進行遠程控制這種機器人。力反饋，使用戶能夠“感覺”的機器的反應時發現例如埋葬的對象。位於本機內部控制電子並具有無輻射硬化要求。然而，模塊化設計，使一個簡單的更換設備。機器人是獨立動力，因為它使用它自己的柴油發動機。運營商的通信鏈路，光纖或射頻鏈路。控制室已經獲得多個遠程操作意見，也有顯示機器人的參數;機油壓力，溫度等操作台功能通常操作台工具：操縱桿，開關，顯示器，圖形用戶界面錄像機。除了力反饋系統是安裝在一個任務召回功能。這能力允許控制者，以這些例程“教”機器人高達 255 課程在一些運行作為達 10 分鐘之久，然後自動執行，在控制者的監督。熱影響區軌的弱點是其輻射低限度，限制它的使用退役的最後階段。一家德國公司：麥系統有限公司已經設計了一個沉重的機器人車輛，最多

的是抗輻射 10 kGy 的從 CS137 鎢屏蔽。這車，被稱為單模光纖，使用一個移動平台，類似於一個小坦克。一個強大的柴油發動機驅動的軌道大的障礙。一個龐大的 6 軸液壓臂被安裝在平台上。這操縱者可以解除可達 250 公斤，並達到 3 米。本最終效應手臂可以是一個抓手，以及所需的任何退役工具。無線電頻率從機器人到控制單元的鏈接，可以盡可能從車輛的 1 公里，位於額外的繼電器 10 公里。SMF 單位包括四個耐輻射相機。兩台計算機用於管理機器人的模塊。一個特殊的鎢容器保護的電子系統從 CS13 並允許建立一個可靠的在輻射環境中操作危險高達 100 GY/小時。額外的備份計算機提供了重複的保護，並允許在車輛的情況下恢復失敗的主計算機。一個高層次的數據交換系統提供了可靠的的與操控者溝通。在故障安全的概念一直沿用 SMF 的車輛設計，並保證不使用單位的可靠性抗輻射的組件。

意外產生時的操作：

當一個意想不到的問題發生在放射性環境，就變成了潛在的危險。一個快速，多功能的工具，對形勢的評估是需要人員不置於危險之中。通用機器人像 Remotec 安德羅或 Rovtech 甲蟲裝有這樣的功能。它的多功能性來自其導航能力，非結構化環境中，其高效的視覺系統和他們的機械手臂，允許一個廣泛的行動。4 月 26 日切爾諾貝利核電站事故 1986 已強調需要機器人在發生核事故的的情況下進行干預的目的。“發送到切爾諾貝利的第一個機器人失敗，因為缺乏輻射硬度，因為他們的束縛成為卡在廢墟中。俄國人首先設計一個機器人，尤其是切

爾諾貝利事故現場，成功清理屋頂。它配備機電致動器，但沒有任何板上的電子產品。接下來多年不少機器人已經開發完成了各種各樣的任務，在切爾諾貝利。在其中一個視頻檢查機器人，一個枯燥和鑽井機器人，一個灰塵和空氣清潔機器人和幾個拆解機器人。最新的機器人設計探索切爾諾貝利石棺內的結果是美俄協作。這個機器人被稱為先鋒，它的成功使用的許多功能。先鋒採用了全電動的，跟踪的平台。“車輛的模塊化可以方便地運輸到每一個單獨的模塊切爾諾貝利建設和總裝接近工作地點。先鋒帶有遙視系統，一個具體的採樣鑽，一個機械臂，一個傳感器包在前方車輛的犁鬥。由於高輻射水平，建成後的混凝土石棺事故似乎有一個結構性的弱點。然而，輻射並不是唯一的挑戰，車輛在石棺和不平坦沒有的廢墟，也使得環境不好遙控操作。該機器人包含一個彩色攝像機輻射觀測系統，硬化達 10 MGY 總劑量的 1 千戈瑞/h 的劑量率。三個額外的相機，屏蔽率先提供了對環境的三維地圖。這些攝像頭和四個 150 瓦燈是可調的，是由控制室控制。具體採樣系統由一個旋轉的電機，線性推力執行機構，6 軸力扭矩傳感器和一個鑽石切割位。鑽孔機的設計與優先可靠性。該系統保持盡可能簡單，主板上的電子最小化和無故障運行 10 kGy 的累積劑量和一個 35 GY/h 的劑量率整個採樣鑽，可垂直安裝或水平樣品的地板或牆壁。鑽探系統是遠程控制操作員。環境傳感器封裝措施的溫度，濕度，和伽馬輻射水平，以及熱和超熱中子領域。犁鬥用於開道或移動一次最多 91 公斤的碎片。機器人有相同的 6 度自由安德羅馬克 VA 機器人手臂，並具有最大有效載荷

45 公斤，達到了 1.68 米。像胡迪尼車輛控制，先鋒電子公司是不是板載的，但在管制站，以避免輻射傷害。然而，觀測系統，鑽井工具和機械手臂控制電子產品的安裝板上。鎢屏蔽盒保護他們對輻射從 CS137 並允許 1 kGy 的總硬度 10 kGy 的總劑量 depending 50 伽瑪場的發病率。查看系統，移動平台，機械手臂和鑽探系統的供電和控制經由配電和控制單元（PDCU）控制。PDCU 是分為不同的模塊更容易運輸。控制台提供方便的工具操作：顯示器，開關，操縱桿和圖形用戶界面。最長距離在操控者和機器人之間的距離是 500 米。

以此次福島核事件來看，當發生核外洩時，由於人無法長期暴露在高輻射的環境之下，以能夠抗輻射的機器人取代之人類的工作就顯得格外重要，當意外發生時，機器人進入核電廠的需求包含了，第一，在不平坦的環境中能夠行走，第二，能夠有即時畫面的回報，第三能夠清理環境，第四就是蓄電力要夠久才能夠長時間的運作，第五當然就是最重要的在電子元件方面能夠有抗輻射的功能，我們以此作為我們研究的方向與目的。

3.2 使用於核能災變之應變機器人

3.2.1 德國 RescueRobots Freiburg 救災機器人

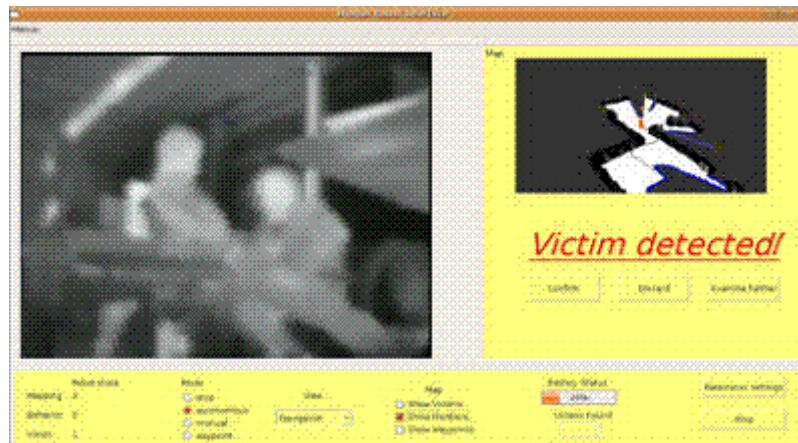
RescueRobots Freiburg 團隊是由一群來自德國弗萊堡大學（University of Freiburg）之教授與學生所組成。該團隊致力於救災機器人的研究，並參加 2010 Robocup Rescue 大賽。該救災機器人擁有許多裝備可在嚴苛的環境中進行探索與救援，而此機器人，如下圖二。該機器人配備了機械手臂、雷射距離感

測器、IMU 慣性測量單元、USB Camera、熱影像攝影機與履帶等等[2]。其中，機械手臂可於發現受難者時給予援助；雷射距離感測器與兩種攝影機可進行 2D 模擬地圖的建構；IMU 與履帶則是通過崎嶇不平障礙的工具。



圖二 RescueRobots Freiburg

此隊伍最大特色在於強調救災機器人之控制與自動導航能力。在控制方面使用人機介面 (Human Robot Interface; HRI) 與圖形用戶介面 (GUI) 於控制電腦中顯示救援任務相關資訊並進行自動或手動控制。自動導航方面技術包括數位繪圖、自動路徑規劃與建構 2D 環境模擬地圖等等。並可針對未探索地區、障礙地區與受難者可能地點進行標記，並完成可行的自動路徑規劃。圖三即為該機器人發現受難者時的 HRI 圖。

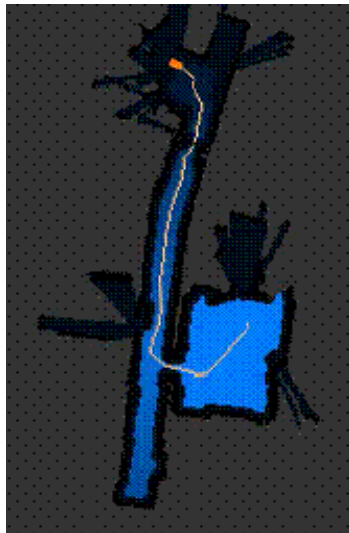


圖三 Human Robot Interface 顯示介面

透過 GUI 介面顯示各種由機器人感測器經過處理後之資訊，可使操作者對於機器人當前狀態、數位影像、熱影像、環境地圖等訊息一覽無遺。除此之外，還可透過使用者介面轉換影像大小，強調操作者欲觀察的細節，並轉換機器人狀態，可增加操作者的救災效率。環境地圖的生成是使用同步定位與地圖建立的技術（ Simultaneous Localization and Mapping；SLAM），但即使技術上可處理雷射感測器的雜訊，機器人仍然會因為環境的干擾而必須做更合理的定位判斷；舉例來說，機器人因場地崎嶇產生履帶空轉的狀況，就會影響定位與環境地圖建構。而 RescueRobots Freiburg 團隊對於此情況則重新確認掃描點與感測器資料，並運用演算法最小化雷射感測器與陀螺儀誤差，與攝影機畫面進行比對確認。

環境地圖建立完畢後則進行路徑規劃，此隊伍應用了 Exploration Transform 技術演算距離圖，從中找尋一條最安全可行而非最快的路徑，並依照路徑移動搜尋受難者，如圖四所示。若於移動中由熱感測影像發現受難者困於建築物中，則會

利用索貝爾運算子 (Sobel) 與邊緣偵測找尋孔洞，進行救援。在任務控制上使用狀態機圖，其屬於階層化時間控制，藉此溝通所有系統，並依照機器人狀態下達命令。舉例來說，機器人從『Autonomous Exploration』狀態開始，若範圍內有足夠重要的目標點，則進行檢查，並將狀態改變為『Drive to Point』，下達移動命令。抵達後進行分析，並為了尋找到受難者繼續進行下一步動作。最後，RescueRobots Freiburg 團隊的機器人於環境地圖建構上相當精準，值得後續探討與研究。



圖四 路徑規劃結果

3.2.2 德國 Hector Darmstadt 救災機器人

Hector Darmstadt 團隊是由德國 Technology University Darmstadt 的成員組成，此大學不僅對於救災機器人有所研究，更在 Robocup 其他組別（如 Humanoid Kid Size 足球賽）中獲得優越成績。透過該大學內不同隊伍之影像視覺、物件辨識等等技術互相交流，該隊伍擁有良好技術基礎。該隊伍所開

發的救援機器人 Hector GV 之照片如圖五，其裝載了雷射距離感測器、超音波測距器、USB Camera、熱影像攝影機、IMU 等感測器，可用於環境模擬與偵測受難者[3]。此團隊於救難過程中採取合作溝通模式，機器人之間資料共享，共同組織環境資訊。而通訊上可分為三個通道，其中兩個分別是 2.4 GHz 與 5 GHz 的 802.11g/n 網路，用於傳遞影像畫面與地圖資訊。第三通道是 2.4 GHz 的 802.15.4 網路，可於系統發生問題或故障時，由操作者下達動作命令。此三通訊通道詳細資料如表一所示。

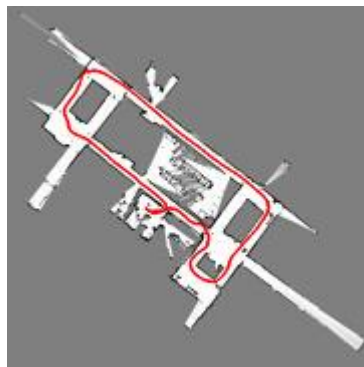


圖五 Hector GV

表一 Hector GV 通訊通道

Rescue Robot League Hector Darmstadt(Germany)
Technology Frequency (selectable)
Power Bandwith (nominal)
2.4 GHz 802.11g, channel 1-13, 32 mW, 54 MBit/s
5.0 GHz 802.11a, channel 36-54, 32 mW, 54 MBit/s
2.4 GHz 802.15.4, channel 11-26, 100 mW EIRP, 115 kBit/s

Hector 的研究重點在於發展機器人的自主能力，期望操作者不需要時時刻刻注意機器人狀態與資訊，又可以在任何時間介入控制。其軟體主要以 RoboFrame 為基礎，可分為裝載於機器人電腦中的應用軟體 RoboApp 與操作者電腦的圖形介面 RoboGui，控制者可於 GUI 介面中察看機器人所有資訊，並可調整機器人為手動控制或自主控制。Hector 共擁有三種自主控制模式，不同的策略可應用於不同救災環境的複雜狀況。該機器人自主能力的基礎為產生精準的環境地圖，而該團隊使用雷射感測器收集資訊，配合 Probabilistic Particle Filter 與 Navigation Filter 減少誤差，並使用 SLAM 建構環境地圖，如圖六所示。



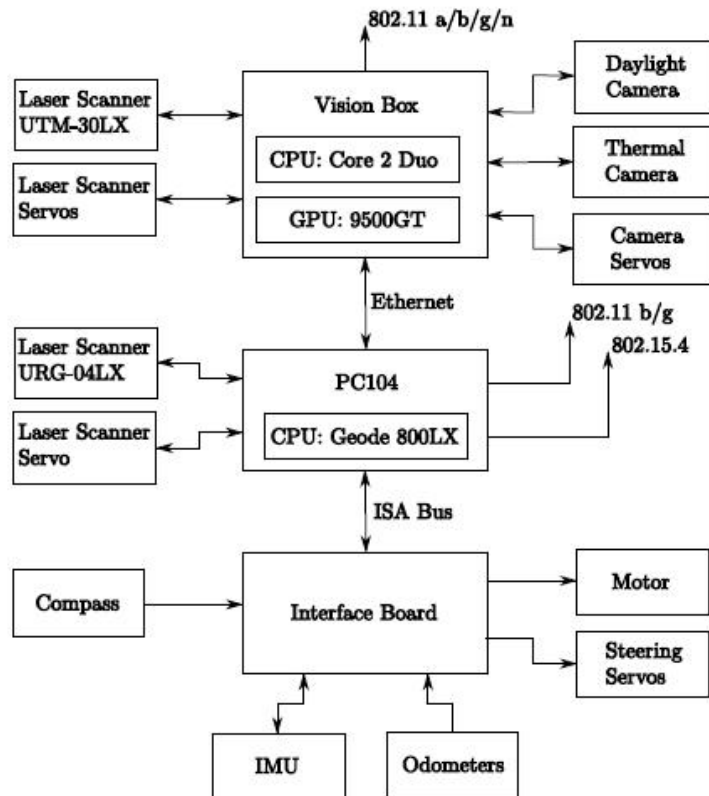
圖六 Hector Map 結果

救災機器人除了擁有受難者的辨識能力之外，還必須具備危險標誌的辨識能力。標誌辨識上，機器人配合影像使用梯度方向直方圖（HOG）技術，計算畫面中線條的梯度大小與方向，並將附近的線條常態化後使用直方圖進行分布統計，經過處理後的影像即可去除大部分雜訊成功辨識，如圖七所示。最

後，該機器人完整的硬體架構如圖八所示。因此，Hector Darmstadt 救災機器人之特色是重量輕、速度快、且可準確定位，但同時由於採用輪型移動方式，可能會在崎嶇地形的移動上有所困難，而此團隊的未來發展目標，是加強部分自主控制，且結合現有系統與 Sensor Node 之無線感測技術。



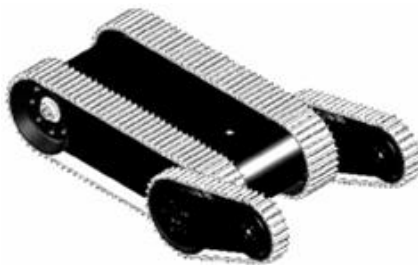
圖七 原始照片（左）與處理後之 HOG 照片（右）



圖八 Hector 硬體架構圖

3.2.3 泰國 iRAP_PRO 救災機器人

“iRAP_PRO”在本屆 RoboCup Rescue 2010 競賽中奪冠，同時這支來自泰國的隊伍亦為 2009 年之冠軍。而此隊伍之機器人之所以能連續摘下 RoboCup Rescue 項目中之冠軍，代表其機器人在救難領域內的各項技術，如地圖建構、環境因素監控、受難者搜救等技術表現相當卓越，為此將特別介紹“iRAP_PRO”之機器人。iRAP_PRO 機器人[4]有遙控型救援機器人如圖九與自主救援機器人如圖十兩種型式。遙控型機器人屬於履帶式機器人，採用履帶來帶動機器人可使機器人較能適應戶外各種不同地形的區域。而在左右兩側的履帶驅動系統是由兩顆 24V /95 rpm 之直流齒輪馬達來帶動履帶，履帶中皮帶部分的材質為合成橡膠。為了使救援機器人能夠通過災區中各種艱困地形（如傾斜、斜坡、地塹等等），機器人同時還具有一對可做 360 度旋轉的履帶式手臂，以讓機器人具更高的地形適應能力。此構造與其在 2009 年參賽時的平台大致相同，差別在於 2009 年參賽機器人的可旋轉履帶式手臂在機器人前後兩端皆有，而 2010 年則改成只在前端裝有履帶式手臂。



圖九 iRAP_PRO 的遙控型機器人

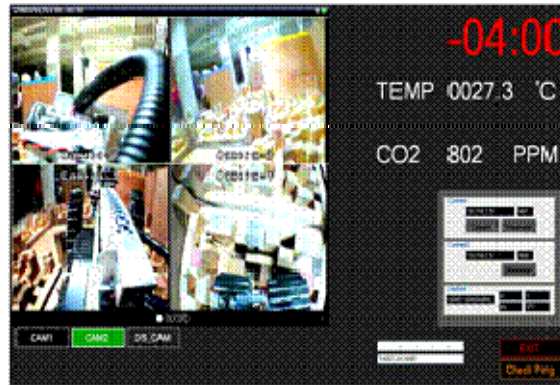


圖十 iRAP_PRO 的自主機器人

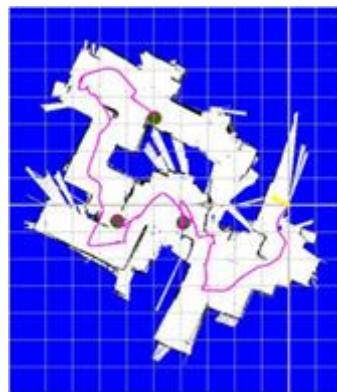
2010 年使用之架構更改目的在於增加機器人結構的堅固性，並減少機器人整體之重量。iRAP_PRO 之自主救援機器人則為四輪之輪型機器人，驅動輪子的馬達是使用 24 V/90 rpm 之直流齒輪馬達。自主救援機器人透過雷射測距 (Hokuyo Laser Range Finder) 和慣性測量儀 (Xsense Inertia Measurement Unit) 進行自動地圖建模和定位以及自動避障；另外也藉由熱感測影像、偵測環境之聲音和二氧化碳濃度來檢測是否有生命反應以完成受難者的搜救任務。

iRAP_PRO 使用的機器人控制核心為 PIC 微控制器，此控制器負責接收安裝於機器人上所有感測器之資訊—包括環境溫度、二氧化碳濃度、聲音、熱感測影像及雷射測距，以建立環境狀況 (如圖十一) 及地圖資訊 (如圖十二)，並且依據當前環境情況對機器人下達動作命令。為了成功達成搜救任務，救援機器人尚備有高機動性的機械手臂，此機械手臂除了可做 360 度旋轉外亦可伸縮達 1.5 公尺，而手臂上之夾爪則可移動重量至少 5 公斤之物體，在救援競賽中用來抓取代表受難者之物體。上述為“iRAP_PRO”救援機器人之架構簡介，其團隊成

功完成了 RoboCup Rescue 競賽中的各個項目並奪下冠軍，藉此證明了 iRAP_PRO 所建立的救援機器人系統其穩定度和完整性是極受肯定的。



圖十一 環境資訊監控介面



圖十二 自動建構之地圖資訊

3.2.4 澳洲 Team CASualty 救災機器人

Team CASualty 來自澳洲的頂尖機器人研究中心 ARC Centre of Excellence in Autonomous Systems(CAS), 在 Robocup Rescue 歷年競賽中，一直是表現很傑出的隊伍；近年來，他們致力於將搜救機器人自主化之技術。在 RoboCup 2010

Rescue 的競賽中，Team CASualty 使用三組機器人進行搜救任務，分別為 Negotiator、Emu 與 Packbot [5]。Negotiator 採用 iRobot 公司所生產之 Negotiator 移動平台作為機器人主要載具，加上特殊的感測與運算系統，可進行自動或遠端操作（照片如圖十三所示）；Emu 為一四輪平台機器人，在設計上雖然機動性與 Negotiator 比起來較差，然而在地圖建置與自主活動上皆較穩定（照片如圖十四所示）；最後，Packbot 則是由 iRobot 所生產之 PackBot Explorer 移動平台作為載具，同樣在頭部備有感測器（照片如圖十五所示）。此三組機器人能夠互相通訊分享資料，自動化的 3D 地圖建模以及自動搜尋遇難者。



圖十三 Team CASualty 所採用之 Negotiator 平台



圖十四 Team CASualty 所採用之 Emu 平台



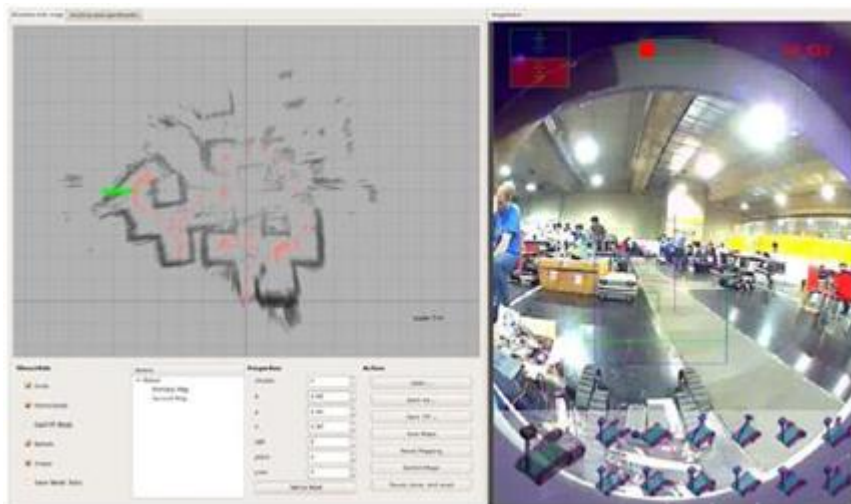
圖十五 Team CASualty 所採用之 Packbot 平台

在感測器使用上，該隊伍使用 Hokuyo URG-04LX 雷射區域測量儀最為短距離的區域掃描，在廣距離的掃描則使用 Hokuyo UTM-30LX 雷射區域測量儀，並且將此測量儀裝置於一伺服馬達上，透過旋轉來取得三維的區域資料。而在視覺上則使用 CSEM SwissRanger SR 3100 模組，此一攝影機的特點在於不只能提供視覺影像，亦能提供對應的遠近深淺資訊。為了定義機器人的姿態，機器人亦配有 Xsens MTI 姿態儀，提供機器人於三維環境中移動的姿態資料。此外，在 PackBot 機器人上亦備有 Thermoteknix Miricle 紅外線攝影機，能夠辨識遇難者的體溫，方便快速找到遇難者。

在通訊上，使用 802.11a (5GHz) 無線網路進行主要通訊，並且另備有藍芽通訊功能，避免無線網路干擾，可進行手動遙控。在操作介面上，此三組機器人可同時由一位操作者進行監控，操作者可以對機器人的自主行動功能進行設定；例如，選擇機器人使用沿牆模式進行活動搜索，亦或使用摸索 (Bump and Go) 的方式進行，同時也能調整與監視機器人所回傳的感測器訊息。在自主搜尋的情況下，機器人會自動搜索遇難者，

並給予操作者警示訊息，由操作者來進行進一步的確認。

此外，遠端遙控機器人最困難的部分在於有時操作者難以定義機器人於環境中的位置，此一隊伍使用 SLAM 演算法幫助機器人於活動中建立地圖模型以及為機器人定位，協助操作者了解機器人於環境中的相對位置。由於在災難現場的地形通常是崎嶇不平的，因此機器人的位移無法由里程計進行精確的推算，此隊伍使用 Scan Matching 演算法將雷射測距儀之資料與里程計資料進行整合，提供 SLAM 演算法可靠的資訊。此隊伍亦實作 FastSLAM 用於 Occupancy Grid Map 之地圖建構，並且在每一網格 (Grid) 中顯示高度資訊，達到建立三維地圖之目的。最後，圖十六所示為該系統之操作介面。

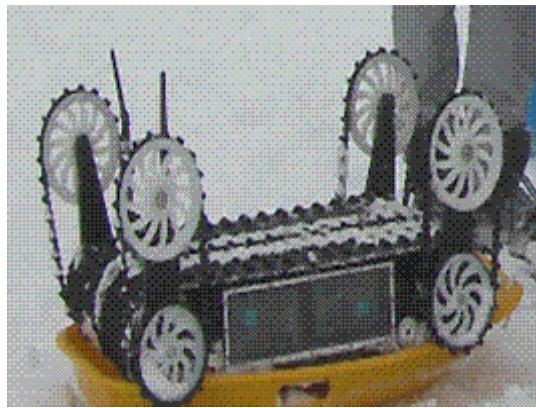


圖十六 Team CASualty 操作介面

3.2.5 日本 Pelican United 救災機器人

Pelican United 為來自日本 Tohoku University 之研究團隊。其所研發之機器人包括 Kenaf2 (如圖十七) 以及 Quince

(如圖十八)，此二救災機器人皆有六個自由度[6]。該機器人設計有兩個履帶，及四個子履帶等驅動系統，以使得機器人更能穩定行走，並能在瓦礫堆中輕易操控。該機器人攜帶方便，可以收納在有把手和輪子的置物箱中，且總重量不會超過 150 公斤，可以一個人攜帶。機器人可在有建築物倒塌危險或直徑約 60 公分的洞穴中行駛。操縱方面只需一個操作人。控制和感測器通訊(包括影像，雷射測距儀等等)使用 IEEE 802.11a，且遙控範圍約 100~300 公尺。



圖十七 Kenaf2 機器人

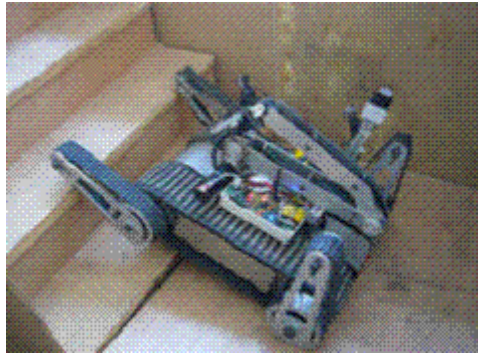


圖十八 Quince 機器人

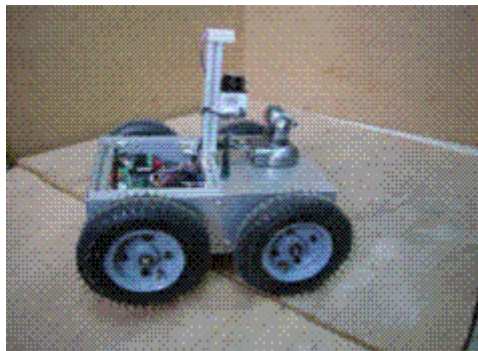
該機器人可以使用遙控和全自動。在遙控方面，其可以使用搖桿（兩個類比搖桿及十二個數位按鈕）操控機器人，操縱者可以藉由攝影機，雷射測距儀了解周遭環境，所有決策將由操縱者決定。追蹤式的攝影機由觸控螢幕操控，而不是使用滑鼠，讓操縱者更方便使用。在顯示介面方面，使用有兩組 LCD 顯示器來顯示機器人資訊。另外，該機器人可以使用一組 3-D 雷射掃描器與固定式 2-D 雷射掃描器建構 3-D 地圖。同時，該機器人配備有三軸陀螺儀，三軸加速度計，以及每馬達上的增量式編碼器，藉由這些資訊可以估測出機器人的大概位置。為了能夠準確標示機器人所在位置，操縱者可以使用攝影機及 2-D 地圖來進行校正。最後，該團隊於機器人上方加裝二氧化碳濃度感測器及熱顯示器，並使用追蹤式攝影機來辨識受難者。

3.2.6 中國 RedSun 救災機器人

中國東南大學之 RedSun 救援機器人由兩部機器人所組成 [7]：一為四輪驅動結構的機器人，適用於傾斜與低窪之地形；另一為帶有前蹠式設計之坦克履帶的機器人，可行走於粗糙之地形並且具有遠端操作之功能。這兩組救援機器人彼此的資訊可以互相交換，並自動對未知地形進行地圖建模，它們曾經榮獲 RoboCup 2009 救援型機器人比賽第二名。



圖十九 帶有前蹠式設計履帶結構



圖二十 四輪驅動結構

這兩組機器人上均配置 802.11 a/5GHz 之無線網路，但為了避免無線網路的不穩定對機器人的控制造成影響，對於需遠端遙控的機器人可使用精簡功能的遙控模式，降低對無線網路的依靠；而自主型的機器人可不必透過無線網路操控，自行移動。自主控制方面則使用微控制器結合筆記型電腦作為主要控制器，而需遠端遙控的機器人則使用 PC/104 架構來控制可伸縮的前蹠式機構。由於該架構使用模組化的設計(例如：CO2、溫度計、雷射裝置等)，因此只需將故障的模組拆下來維修即

可，相當方便。另外，透過使用 CAN (Control Area Network) 通訊介面，兩組機器人之間的所有感測模組皆可通用，不需進行額外的介面修改。

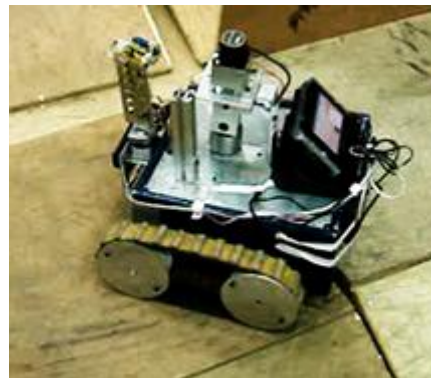
該機器人部分配有 MCU 整合各類型感測器 (包含雷射掃描、電子羅盤、溫度計、聲納、紅外線偵測距離)，並透過 CPLD 來進行資料讀取與解碼。而影像處理則直接透過乙太網路傳輸到電腦遠端控制使用者之螢幕，透過 GUI 讓使用者可以立即了解實際情況及所有感測器的相關數據。為了更了解救援的地理位置及地形，因此必須計算機器人本身的位置；這些座標位置就是以里程計、慣性導航感測器以及雷射範圍掃描對應感測器等三個取樣值重疊計算出最小之誤差值作為執行任務之方向，以增加實際地圖生成的準確性。最後，該機器人的手臂上裝有一個攝影機作為辨識遇難者之用途；除此之外，也加入一些感測器，如麥克風、溫度計、CO2 感測器等裝置來得到更多有關遇難者的資訊。

3.2.7 伊朗 PARS 救災機器人

PARS 是一支來自伊朗的隊伍，在 RoboCup Rescue 2010 比賽中使用了兩部機器人[8]，一為遠端操作的履帶機器人名為 Adora (如圖二十一)，其是為了在崎嶇不平的地面進行搜救設計的；另一則是全自主的搜救機器人名為 Nasir，(如圖二十二)，其主要是功能為救災人員建構現場即時且可靠的地圖以進行導航的工作。



圖二十一 Adora 機器人



圖二十二 Nasir 機器人

Adora 履帶機器人的通訊系統是以建立在 IEEE 803.11 標準上的 TCP/IP 通訊協定為基礎，透過無線發射器，使機器人能與操作站進行遠距離的通訊。機器人身上裝載有舉臂且擁有兩個自由度，舉臂上安裝了 SMT IR9902S 被動式紅外線感測器 (PIR)、D203S 溫度感測器 (Thermopile)、傾斜感測器 (Tilt Sensor)、攝影機及麥克風。位於遠處的操作人員可以利用這些感測器找出受難者的位置並透過麥克風與受難者溝通，以了解受難者的身心狀況。機器人身上也裝 MG881 二氧化碳感測器收集災難現場的資訊以利救災。

Adora 機器人履帶是由鏈條與塑膠材質組成，除了高摩擦力外同時具備耐撞擊與抗拉扯的特性，並分別由兩個 110W 的無刷直流馬達來推動，在主要的履帶中間加入不貼地的輔助履帶，這樣一來行進在平坦路面不會因過大的摩擦力減緩速度，而崎嶇的地面又可以增加推進力。在 360 度的前蹠式設計使機器人能輕易的通過溝渠或較高的障礙物，大幅提升了機器人的機動性。而 Adora 機器人的控制介面是以 Microsoft Visual C 搭配 DirectX SDK 來實現，在控制介面中有機器人身上的攝影機畫面，也有模擬機器人目前狀態的 3D 影像，感測器被量化的數據也一併顯示在介面中。

Nasir 搜救機器人的重要任務就是在搜救人員無法進入的災難現場，建立準確且可靠的地圖並且隨時更新，讓無法進入現場的人員能掌握裡面的情況，能快速擬定良好的救災策略，減少傷亡。Nasir 機器人配備有 URG-08LX Laser Range Finder 感測器以及里程計，其使用 GridSLAM 演算法以及相關感測資料建立環境地圖以及機器人位於地圖中的位置；其中 GridSLAM 演算法相當適合像災難現場這樣無結構性的環境，GridSLAM 演算法也可以進一步應用於開發機器人的導航。

Nasir 機器人的導航系統則分成兩部分來實現，其一為是機器人的探索；其二則是機器人如何閃避障礙物到達目標位置。當機器人探索時會使用地圖的邊界資訊決定下個要探索的位置，導航系統的第二部分也開始運作。此時 SR-300 Range Camera 可以幫助機器人躲避 LRF Sensor 未偵測到的障礙。所有的機器人都可以透過無線網路，操縱或取得其即時資訊，在

操控 Adora 機器人的同時也可由另外一個螢幕得知 Nasir 機器人回傳的地圖資訊，達到相輔相成的效果。當然操作人員的技術、判斷反應能力、細心程度等都是影響搜救行動成功與否的重要因素。

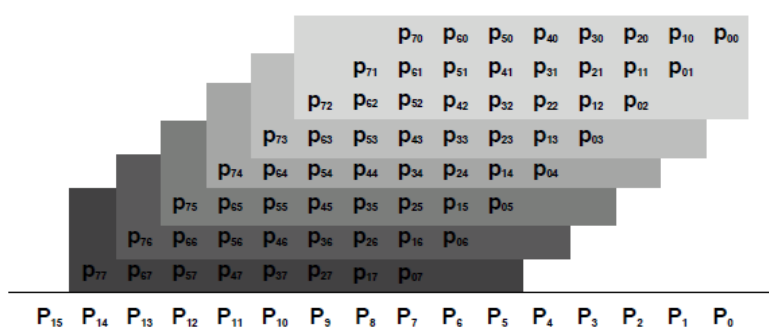
4. 抗輻射電路設計實例

4.1 A MSFT with TMR Technique

此電路設計，最主要抗輻射概念為 Triple module redundancy，而主要實現的電路為乘法器。此設計 MSFT 分乘數操作分為多個階段，如圖二十三所示，並採用單一的處理單元（PE）的實施主要的運算，而 PE 的部分利用複製三份的做法達到 TMR 的結果，如圖二十四所示。要落實 MSFT 乘數，提出了四個系統的步驟：

- 1) 選擇的主要組成部分，實施 TMR-PE
- 2) 分割成一個多級結構。
- 3) 根據第二步驟所選，設計 pre-PE，TMR-PE，voter。
- 4) 最後利用兩個 2L 長的暫存器儲存，並利用 CPA 做加法得到結果。

如表二所示，為 MSFT TMR 與原始 TMR 的比較結果。



Stages of the 8 × 8 MSFT multiplier with 3-2 compressor.

圖二十三 MSFT乘數示意圖

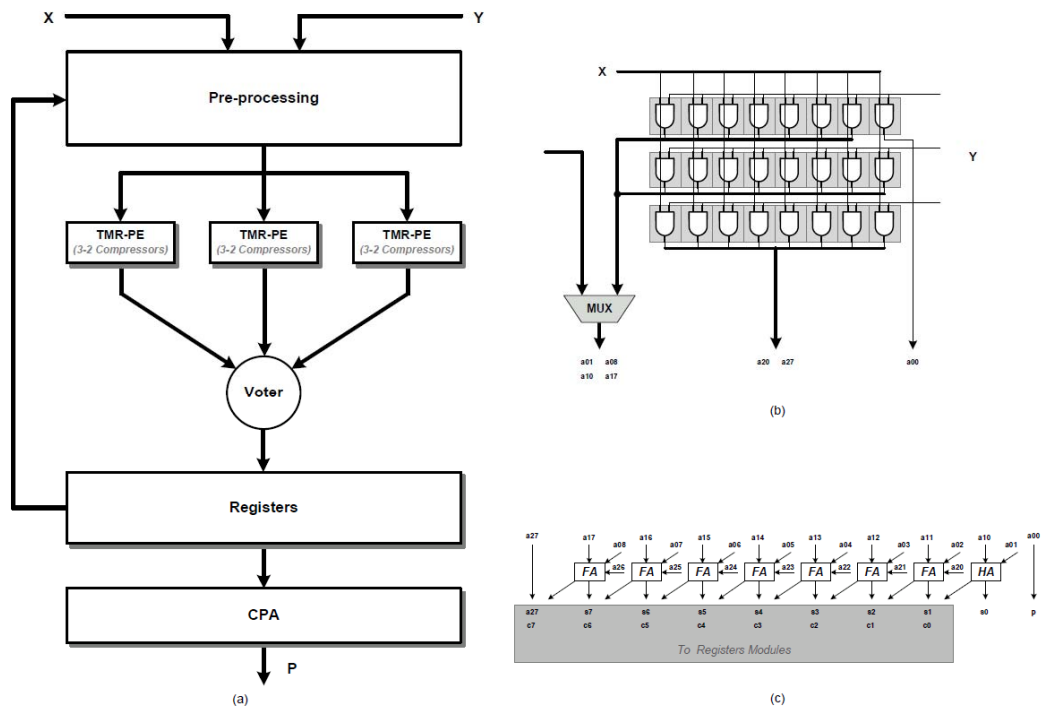


Fig. 3. Architecture of the 8×8 MSFT multiplier with 3-2 compressors. (a) The entire architecture of the MSFT multiplier.

圖二十四 A MSFT with TMR Technique

表二 比較結果

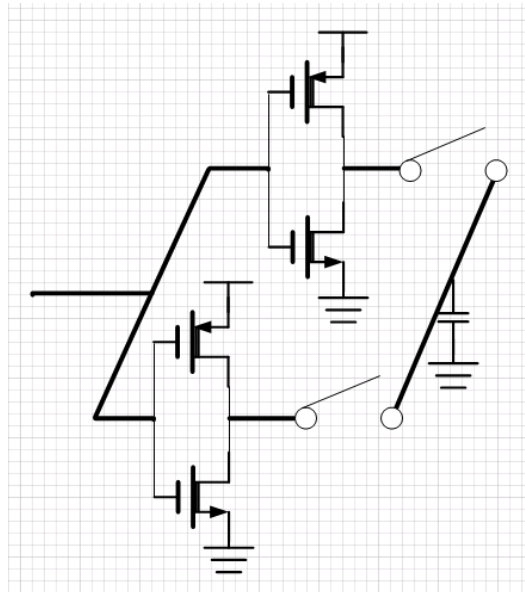
		Original		Original with TMR		MSFT with 3-2 Compressors		MSFT with 4-2 Compressors	
L = 8	Area (μm^2)	4737	100%	14689	310%	5459	115%	7301	154%
	Delay (ns)	4.49	100%	4.73	105%	6.66	148%	4.68	104%
	Power (mW)	2.39	100%	7.37	308%	2.45	103%	2.82	118%
	AT	1.00		3.27		1.71		1.61	
L = 16	Area (μm^2)	20544	100%	62590	305%	10921	53%	14679	71%
	Delay (ns)	9.71	100%	9.95	102%	15.54	160%	10.92	112%
	Power (mW)	15.31	100%	46.54	304%	5.36	35%	6.13	40%
	AT	1.00		3.12		0.85		0.80	
L = 32	Area (μm^2)	85582	100%	258661	302%	21891	26%	29489	34%
	Delay (ns)	19.33	100%	19.57	101%	33.30	172%	23.40	121%
	Power (mW)	80.90	100%	244.33	302%	11.05	14%	12.59	16%
	AT	1.00		3.06		0.44		0.42	
L = 64	Area (μm^2)	348287	100%	1048694	301%	43799	13%	59074	17%
	Delay (ns)	39.43	100%	39.67	101%	68.82	175%	48.36	123%
	Power (mW)	425.00	100%	1278.80	301%	22.56	5%	25.69	6%
	AT	1.00		3.03		0.22		0.21	

4.2 Novel Inverter

此設計主要針對 SEU 與 SET 之防範而設計，並且不使用 TMR 的情況下達到面積較小且設計較容易的容錯反相器。抗輻射觀念主要為透過輸出電壓回授給予前方，得知利用何種電流去控制輸出，使得輸出不容易受到輻射之干擾造成錯誤。設計流程:上方之反相器 P 型較大，N 型較小；下方之反相器 P 型較小，N 型較大，如圖二十五所示。

運作方法:

- 1)當輸出為高時，開啟上方之反相器，使得輸出比較不容易偏向低
- 2)當輸出為低時，開啟下方之反相器，使得輸出比較不容易偏向高



圖二十五 Novel Inverter

5. 結論

本計畫以核能電廠使用之高抗輻射機器人為例，建立符合安全法規與標準之核能級控制器設計規範，並提出核能級控制器系統的測試與驗證程序有效率方法。本計畫實作一個高抗輻射電路設計，以三模組備援(Triple-Modular Redundancy, TMR)技術為基礎的高抗輻射多級容錯控制器。

參考文獻

1. 行政院原子能委員會核能研究所論著撰寫與評審作業要點，核能研究所綜合計畫組編印，中華民國九十三年二月，九十二年二月廿五日修訂版。
2. A. J. Buslik and R. E. Hall, "Radioactivity Release Versus Probability for a Steam Generator Tube Rupture Accident," Nucl. Technol., 46(3), 566 (1979).
3. Jing-Tong Yang, "The Manipulation and Application of the INER-CSRL 218-Group Neutron Cross Section Library," INER-0484 (1983).
4. S. Glasstone, "Sourcebook on Atomic Energy," p. 155, D. Van Nostrand Co., Inc., New York (1974).
5. J. E. Vessely, "Manpower Requirements for Quality Assurance During Various Phases of a Nuclear Power Plant," Proc. Int. Symp. Quality Assurance for Nuclear Power Plants," Paris, May 11-15, 1981, p. 313-324, IAEA, Vienna.
6. M. K. De, "Acoustic Waves from Hydrodynamic Cavitation," PhD Thesis, University of Michigan (1980).
7. U.S. NRC, Regulatory Guide 1.68, "Initial Test Programs for Water-Cooled Nuclear Power Plants" (August 1978).
8. ANSI/ASME N510-1980, "Testing of Nuclear Air-Cleaning Systems