

資訊奇襲戰-無線感測網路之軍事應用

作者/資訊作戰組 李武耀 少校、陳寶騏 中校、張振寧 上校

提要

- 一、孫子兵法始計篇：「攻其無備，出其不意。」其意旨是在敵虛弱之處與意想不到的之處，攻之。
- 二、戰場數位化即是利用資訊科技精準辨識戰場敵我位置，有助於我打擊部隊奇襲戰術部署與應用。
- 三、全世界各國如火如荼發展無線感測網路（Wireless Sensor Networks），運用在軍事偵測、氣象觀察、生態保育、環境災變或居家看護等方面。
- 四、無線感測網路應用瓶頸是電力供應不足的問題，科學家正致力於電力供應系統研究，以期能延續網路使用壽命。
- 五、無線感測網路利用無線網路建構網路傳輸鏈路，透過感測模組，將數據資料傳回工作站，以利遠端監控敵我部署。

關鍵詞：無線感測網路、戰場數位化、敵我辨識

壹、前言

孫子兵法始計篇：「攻其無備，出其不意。」其意是在敵虛弱之處與意想不到的之處，攻之，以收奇襲之效。最典型的例子在第二次世界大戰，日本奇襲珍珠港，使美國太平洋艦隊幾乎消滅殆盡，據美方公佈擊毀主力艦五艘，重傷主力艦一艘，輕巡洋艦二艘，驅逐艦三艘，輕傷主力艦二艘，被擊毀海軍飛機九十二架，可謂戰果豐碩。

個人認為「資訊奇襲戰」指導要領置重點於「定位」與「辨識」，透過資訊科技的感知系統偵測敵位置，掌握敵動向與位置，辨識我與友軍聯合作戰準確位置，即能克敵機先。

然而，實際情況是全程掌握敵人方位有其困難之處，更別談如何部署奇襲戰術。再談指管通情監偵之資訊延遲，讓第一線攻擊部隊與第二線守備部隊或反擊部隊無法真正掌握敵情，作出判斷。

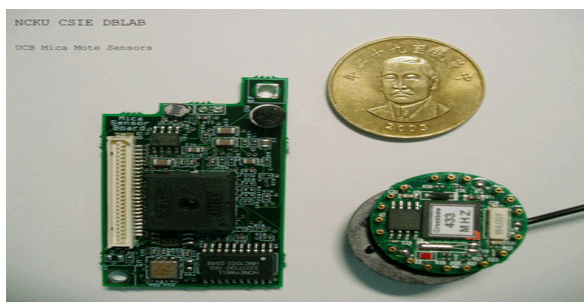
在美伊戰爭中，美國將戰爭藝術表達得淋漓盡致，強調戰場數位化與指揮一貫化。美國陸軍前參謀長沙利文指出¹：「戰場數位化就是用資訊系統把戰場空

¹ 中共新華社，資訊時代"戰場"變成"作戰空間" 探秘戰場數位化，
http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/newmedia/2005-03/17/content_2710101.htm。

間的每個武器系統聯接起來，使指揮官得以協調戰鬥的諸因素，以達到毀滅性效果。」個人認為「戰場數位化就是能在戰場上明確掌握敵我位置，以利我適切部署攻防奇襲戰術，達到武器系統最大效能，提高我軍存活率。」

貳、無線感測網路簡介

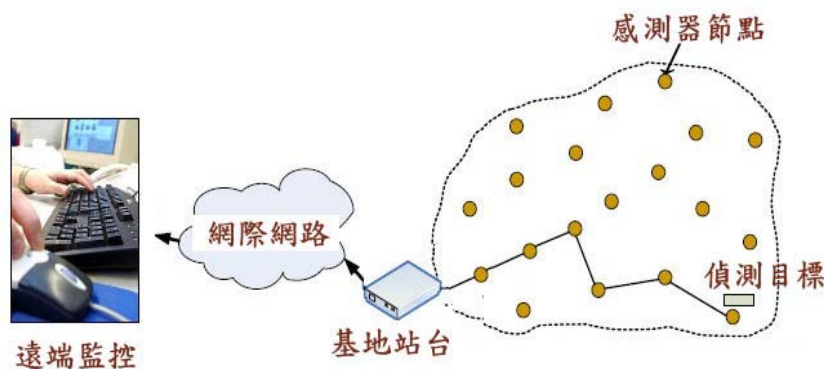
無線感測網路（Wireless Sensor Networks）的起源是由美國軍方委託美國加州柏克萊大學（UC Berkeley）的一項研究案，名稱為「智慧灰塵（Smart Dust）」。研究人員開發出一種體積小（約十元硬幣大小）的感測器，如圖一。



圖一 無線感測器實體（資料來源：無線感測網路，成大資工系 ADS 實驗室，<http://imus.csie.ncku.edu.tw/imus/sensor/index.html>。）

由於近來微型製造的技術、通訊技術及電池技術的改進，促使微小的感測器具有感應、無線通訊及處理資訊的能力。此類感測器不但能夠感應及偵測環境的目標物及改變，並且可處理收集到的數據，並將處理過後的資料以無線傳輸的方式送到資料收集中心或基地台（Base station）。

感測器本身可比擬為一台微型電腦，像是人的五官，針對環境中我們所感興趣的事物進行資料收集，將所收集的資料先做簡單運算處理後，再利用無線網路數據交換，讓前方的數據回傳至後方的監控中心進行判讀，如圖二。



圖二 無線感測網路概念圖(作者繪製)

現今全球既有的纜線網路已架設完備，加上無線網路涵蓋範圍廣，無線通訊、超大型積體電路及微機電等技術的日趨成熟，在人類生活環境中佈置大量、微小、便宜而低耗電的計算及通訊裝置，可建構各式各樣之無線感測器網路的應用，其中 ZigBee²無線技術的各項應用便成為一個大家注目的焦點。

ZigBee 目前比較普遍性的名稱為「群蜂技術」。ZigBee 一詞源自於蜜蜂，係因蜜蜂看似隨意地跳著字形舞，實際是將有花和蜂蜜所在地的訊息，正確的傳達給其他蜜蜂。ZigBee 具備的正是相似的通訊能力，可將訊息傳遞給其他 ZigBee 裝置，其具備低成本、低耗電的特性，加上標準化的發展，因而比其他技術更具競爭優勢。

ZigBee 在工業與自動控制市場表現突出，適用於軍事偵搜、居家照護、通訊等應用，其包含兩種不同單位所制定的通訊規格：

一、ZigBee 聯盟所主導的標準：定義網路層（Network Layer）、安全層（Security Layer）、應用層（Application Layer）以及各種應用產品的外觀；

二、國際電子電機工程協會（IEEE）所制定的 IEEE 802.15.4 標準：定義實體層（PHY Layer）與媒體存取層（MAC Layer）。

目前，Wi-Fi 遵循 IEEE 802.11 (IEEE, 1999b)，ZigBee 遵循 IEEE 802.15.4 (IEEE, 2003) 通訊協定，此二架構的無線感測技術前者以日本農業綜合研究所創的田間伺服器(Field Server, FS)，後者以美國柏克萊大學所創的無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)與NASA 噴射引擎實驗室(JPL)所建的感測網(Sensor Web, SW)為最具代表性³。FS、WSN 和SW 都具備Ad hoc 功能，此為P2P 的概念，每一點都可雙向傳輸，點數愈多允許傳輸的範圍可隨之擴大。基本上都是允許將感測訊號透過無線網路傳至網路上儲存，允許使用者上網瀏覽與觀察歷史紀錄。早期應用以監測與預警為主，目前正朝向兼具控制功能發展。

下表一所示為IEEE 802.11 與802.15.4 兩種不同通訊協定的比較，WiFi允許傳輸監測數據與影像，但須搭配太陽能板；ZigBee 只能傳輸監測數據，但極為省電；假設每6 分鐘傳送一筆資料，使用2 顆AA 電池就可耐用1 年。ZigBee 允許單一主機允許許多節點的連接，設置成本較低，複雜度小。

²洪志宏，「ZigBee 智慧化空間商機浮現 台灣廠商可望在全球市場取得領先地位」，新電子科技雜誌，新電子科技雜誌 249 期 12 月號，http://203.66.123.22/ne/news/news_detail.asp?Id=1404。

³方煒，台灣大學生物產業機電工程學系教授，「田間伺服器與無線感測網路的國內外發展」，資訊科技在農產品安全鏈之應用研討會，2005/10/26。中華民國。

表一 IEEE 802.11 與IEEE 802.15.4 兩種不同通訊協定的比較

通訊協定	WiFi (IEEE 802.11b)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
無線頻率	DSSS	DSSS
傳輸速率	11 Mbps	250 kpbs
主機收容節點數	32	64,000
節點回傳延遲時間	大於 3 秒	30 毫秒
資料型態	影像、語音、圖表、圖片、檔案等類型封包資料	感測封包資料
有效範圍	100 公尺	70 公尺
範圍延伸能力	須建立漫遊機制	自行延伸距離
電池壽命	幾小時	約一年時間
複雜度	複雜	簡單

註：DSSS：直序展頻 (Direct sequence spread spectrum)

(資料來源：Wang, N., N. Zhang, and M. Wang. 2004. Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. CIGR International Conference·Beijing, China.)

在安全議題上，ZigBee 在標準中定義以 128bit AES 作為其加/解密演算法，提供最安全的傳輸環境，可取代目前傳統的控制傳輸方式，如傳統保全感測器大多為有線方式建置，感測器本身須連結電源線與訊號線，反觀 ZigBee 具備無線傳輸、低成本、低功耗特性，因此可以取代電源線與訊號線。

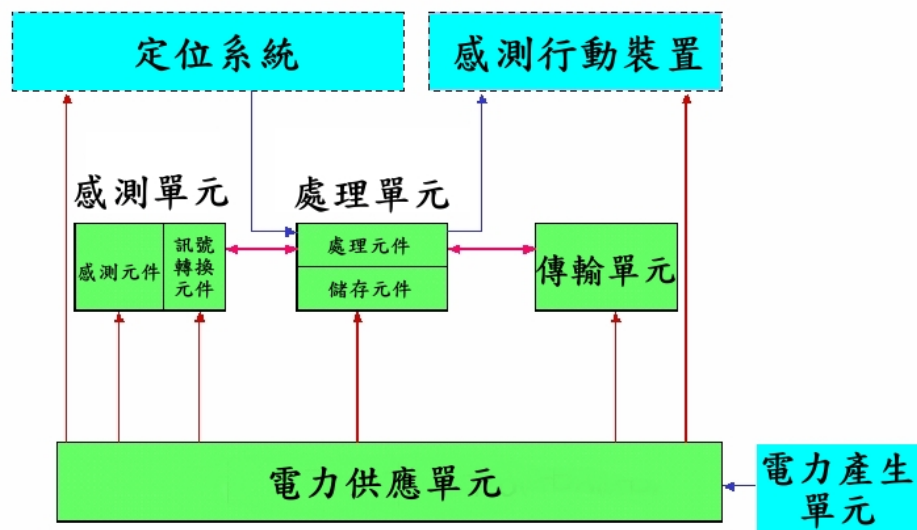
由於 ZigBee 標準制定的頻寬不大，因此並不適合大量的資料傳輸應用，再加上 ZigBee 本身為短距離傳輸技術，可傳輸距離不長，在許多應用上都必須搭配其他傳輸技術才能發展完整的解決方案，如在大量資料傳輸時，可透過 WiFi、全球微波存取互通介面標準 (WiMAX) 等技術，而須要長距離傳輸時，則可搭配全球行動通訊系統 (GSM)、整體封包無線電服務 (GPRS)、第三代行動通訊 (3G) 以及 WiMAX 等方式。透過不同技術的搭配，才能突顯出 ZigBee 技術在應用上的諸多特色，整體應用的功能也更完善。

由資策會網路多媒體研究所完成的全球第一套結合 ZigBee 與 WiFi 的無線感知定位導覽系統，這個成功的例子已於國立自然科學博物館進行實地驗證，目前的定位精準度高達 91~99%，且能將定位精確值縮減至 2~3 公尺內範圍，

可滿足大部分的定位應用需求。同時，資策會除了掌握 ZigBee 定位應用技術中數個關鍵專利技術，同時亦積極開發場測工具、布建工具、感測網路分析工具等技術。

參、無線感測器硬體設計

感測器硬體設計主要由四個基本單元組成，如圖三所示的感測器模組圖，各組成單元說明如下。



圖三 無線感測器模組圖(資料來源：Marc Weiser, "Sensor Networks: Applications and Services", The Computer for the 21st Century.)

一、感測單元 (Sensing Unit)⁴

感測單位主要包含兩個部分：

(一) 感測元件 (Sensor)

偵測環境參數，並以類比訊號呈現。

(二) 訊號轉換元件 (Analog-to-Digital Converters, ADC)

將類比訊號轉換成數位訊號，送到處理單元處理。

二、處理單元 (Processing Unit)

處理單元組成包含兩大部分：

(一) 儲存元件 (Storage)

功能類似個人電腦中的硬碟、記憶體、姆指碟等儲存裝置，將蒐集之環境

⁴ 同註 3。

數據儲存在儲存元件內。

（二）處理元件（Processor）

功能類似個人電腦中的中央處理機（CPU），負責執行內嵌式程式碼，協調控制感測器間不同的單位元件。處理元件可依據程式碼執行指令，亦或藉由後端伺服器根據事實來發送命令，啟動感測單位收集環境的資訊，並將所收集的資料經過彙整後，透過傳輸單位將資料發送回去。

三、傳輸單元（Transceiver Unit）

傳輸單元負責連接感測器與其他感測器之間的溝通，或是將感測器的資料傳送給無線資料蒐集器。傳輸單位可使用的傳輸介質有紅外線（Infrared）、無線電波（Radio）、以及光纖介質（Optical Media）等，依環境變換及應用目的不同，有多種應用選項。

四、電力供應單元（Power Unit）

電力供應單元必須供應感測器單元間之電力需求，所有單元功能運作都必須使用電量，其重要地位可以影響到感測器使用壽命與運作持續性。電池是感測器常見的電力來源，在設計上，將置重點在「省電」議題上。

另外根據不同的環境與應用需求，可增加新的功能單元。常見的有：GPS 定位系統（Location Finding System）、外接或內建電源產生器（Power Generator）、或可攜性行動裝置（Mobilizer）⁵等。雖感測器內部可包含如此多元件，但是感測器本身的硬體設計，重要的是以體積小、重量輕、成本低廉、以及高效能為設計主要原則。

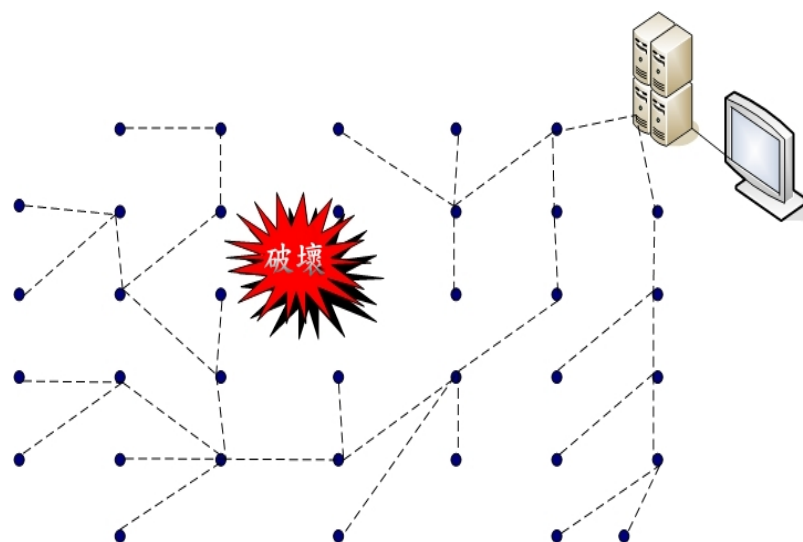
另外，在設計時往往有許多方面需要考量，討論如下：

一、網路的容錯能力（Fault Tolerance）⁶

感測器本身構造簡單，但使用的電力有限，加上感測器放置於天然環境中，容易受到環境因素的侵蝕與毀損，造成損壞或是耗盡電源，所以在設計感測網路時，必須避免因為少數感測器損壞而造成整個網路癱瘓的情形，如圖四。

⁵ C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," in ACM/SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, 1994, pp. 234-244.

⁶ Holger Karl and Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons Inc., 2005.



圖四 網路容錯重建機制圖(作者繪製)

二、網路的擴展性 (Scalability)

無線感測網路在設計上要考量有效率的傳輸協定 (Routing Protocol)，以及分散式運算模型 (Distributive Computation)，讓感測器所收集的資料能夠順利傳回給後端伺服器。

三、感測器的價格 (Sensor Costs)

無線感測網路其感測器的數量往往十分龐大，整體成本的考量也是相當重要；如何降低感測器硬體及設計上的價格，一直是十分重要的議題。

四、感測器硬體設計的限制 (Hardware Constraints)

感測器達到像灰塵一般是未來的目標，目前的微電子機械技術只能打造出像銅板大的感測器，未來仍要朝小尺寸、效能強的目標發展。

五、無線感測網路的網路拓樸 (Sensor Network Topology)

一般感測網路的建立與維護可細分為三個階段：

(一) 事先規劃與實際部署階段 (Planning and Deployment Phase)

感測器的部署可以事先精心規劃，再依據所規劃的藍圖逐一擺放感測器。

(二) 後部署階段 (Post-Deployment Phase)

感測器部署完成後，即形成無線網路可用架構，然而，感測器本身容易受大自然環境影響，好比說水流、風速、動物或是人為等因素而改變。此時系統須對拓樸的改變做即時反應，並迅速對殘缺的網路拓樸做出修正，也就是重建網路容錯機制。

(三) 新增感測器階段 (Redeployment of Additional Phase)

由於電力不足或損壞緣故，一段時間後，許多感測器已不堪使用。此時，

新增感測器是較佳的解決方案，可再自動重新組態（Auto-Configuration）網路架構，繼續執行任務。

在無線感測網路中 sensor nodes 彼此溝通傳遞資料必須建立一個路由樹（routing tree），從傳資料的 leaf node 端經過中途端點到 root node 的資料收集點，目前有兩種資料處理及收集的方式。一種是將資料經由 routing tree 直接傳遞到資料收集端，另一種是採取資料融合（data fusion or data aggregation）的方式，使得節省傳遞資料量的溝通方式。Sensor network 裡的 sensor node 除了是前面所介紹的靜態的，也可以依應用的不同而有動態移動的 sensor node，但是這種 static sensor 與 mobile sensor 彼此互相協調，在設計網路架構與溝通協定時又增加不少困難。

六、感測網路的傳輸介質（Transmission Media）⁷

無線感測網路的傳輸介質與一般常見的無線網路相同，包括可以利用紅外線、無線電波、以及光纖介質等作為傳輸媒介，而最常使用的傳輸介質是無線電波。

七、省電機制（Power Consumption）⁸

感測器本身能夠攜帶的電源十分有限，特別是在感測器在偵測環境、資料運算、以及將資料傳輸給後端的無線資料感應器時，往往都會耗費為數可觀的電力。若沒有特別的省電機制，感測器本身的使用壽命勢必會大幅縮短，造成更換感測器時耗費更多的成本，甚至在某些戰場環境下，感測器的更換並不是那麼容易。如何提供一個良好的省電機制，可以說是無線感測網路所需要考量的重要課題。

資料通訊為 sensor network 能源消耗最大的部份，為能與其它 sensor node 或基地台互傳資料，sensor node 必需透過無線傳輸的技術發送及接收資料。為能節省能源消耗，sensor network 多進行短距離資料傳送。由於降低能源消耗為感測器設計之首要考量，因此除了設計低功率電波收發器外，研究學者亦建議感應器需具有睡眠裝置以節省能源消耗。研究顯示，唯有進入睡眠狀態，收發器方能真正節省能源，但開關收發器（亦即進入睡眠狀態或結束睡眠狀態）所消耗的能源相對而言也是十分可觀。所以如何安排感測器睡眠時程為另一重要研究課題。

⁷ Hui Dai and Richard Han, "A Node-Centric Load Balancing Algorithm for Wireless Sensor Networks," GLOBECOM '03 IEEE, December 2003, pp.548-552.

⁸ W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 12, No. 3, June 2004, pp. 493-506.

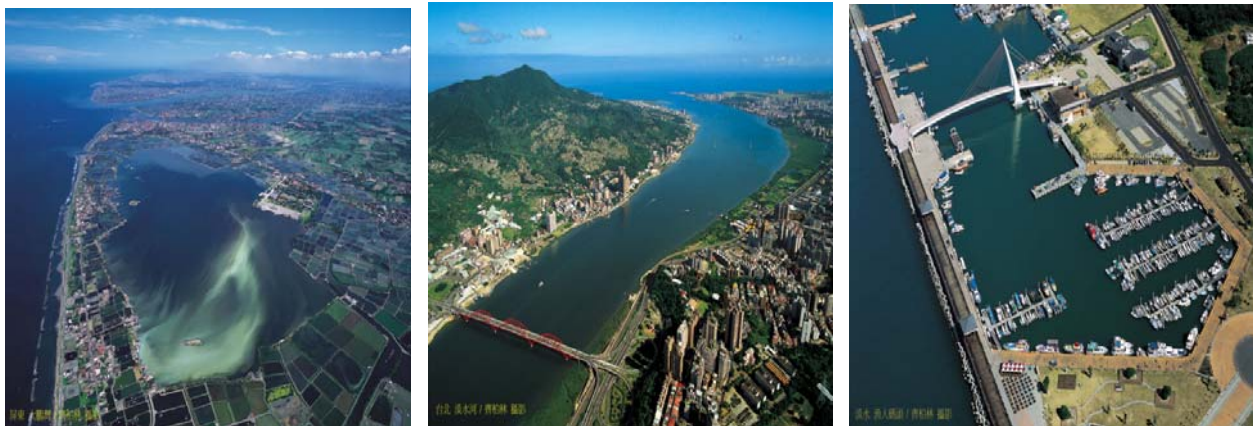
肆、資訊奇襲戰

在波灣戰爭中美軍透過感測器，例如：軍用衛星、無人遙控飛機、地面戰搜直昇機等高科技偵察裝備，拼湊整個戰場資訊。美國軍方計劃在戰場上利用無人駕駛飛機，帶著數以百萬計廉價且外型就像是灰塵一樣的無線感測器，散落部署在敵軍佔領區進而監控蒐集敵軍行蹤資料，再將資料透過無線網路傳回無人駕駛飛機分析判讀，供指揮官作戰決策⁹。

去年參加在台北的 ICS2006 國際資訊科技研討會，與會來賓香港科技大學倪明選教授在會中也提到中共應用無線感測網路在軍事水雷部署與礦坑災變預防之成果與瓶頸¹⁰。

在台灣台灣大學應用無線感測網路在氣候觀測上，利用遠端監控溪頭苗圃、柳杉林、台灣杉林及銀杏林等氣溫及相對濕度¹¹。國軍目前並沒有在無線感測網路的軍事應用，值得發人省思。各國應用無線感測網路的範圍相當地廣泛，其中包含：敵我武器識別、戰場狀態監控、敵營偵察任務與核生化攻擊偵察及判定¹²。

台灣目前的戰略規劃是「防衛作戰」，第一波就是泊地攻擊的守勢作為，在守勢作為中的預警機制是非常重要的，完全分秒必爭。台灣四面環海，海岸線總長為 1,355,521 公尺¹³，灘岸交接處即是敵我首戰場，有所謂的「泊地攻擊、灘岸登陸」。如何延長我預警部署時間，強化目標辨識正確率，進而有效地利用有限兵力與火力來殲敵於灘岸前是一項重要的議題。



圖五 台灣各灘岸地形要點(資料來源：齊柏林攝影部落格，<http://tw.myblog.yahoo.com/aerofoto-taiwan>)

⁹ 王友群，胡君琪，曾煜棋，「感測網路將走入人類日常生活」，通訊雜誌，第 116 期（台北內湖，民國 92 年 9 月號），<http://www.cqinc.com.tw/grandssoft/cm/116/atr-1.htm>。

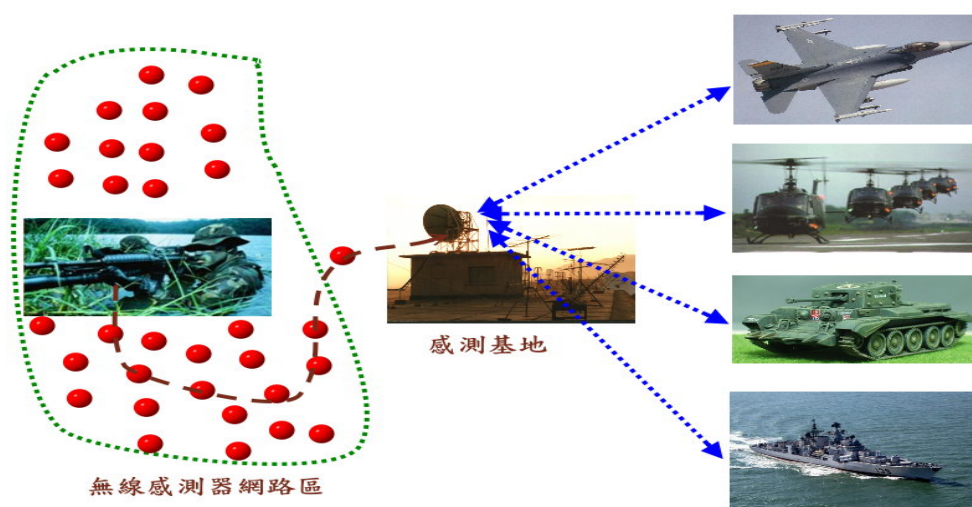
¹⁰ Lionel M. Ni, "Middleware for Wireless Sensor Networks", ICS 2006, Vol. 1, No.1, 2006/12, p.6。

¹¹ 賴彥任，邱祈榮，楊曜榮，「無線感測網路運用於台灣不同林分微氣候觀測」，台灣大學，<http://sabo.fo.ntu.edu.tw/wsn2>。

¹² 無線感測網路，成大資工系 ADS 實驗室，<http://imus.csie.ncku.edu.tw/imus/sensor/index.html>。

¹³ 綜合計畫組，內政部營建署，http://www.cpami.gov.tw/inews/i1_detail.php?nen0=2875。

因此我軍若能在沿海、港口、機場或重要軍事設施部署無線感測網路，構連成一即時偵測系統，用來監控與識別目標物，達成陸海空三度立體戰場數位化，將可提高我「知天、知地、知敵」的作戰效益，如圖六。



圖六 軍事無線感測網路部署圖(作者繪製)

由於感測器在有計劃部署情形下，每個感測器雖不知道自己與其他感測器的相對位置，但感測網路使用自我組態 (Self-Organization) 協定¹⁴，自動將感測器組織成一個可用通訊鏈路，使得所有感測區域中的感測資料，皆能透過自我組態所建立的網路，將資訊送到無線資料蒐集器。

假定根據參二情報中心推估敵可能攻擊戰法，想定其可能泊地上岸地點，則此時參二情報中心可以請通資電參謀擬定無線感測網路部署計劃，由通資連將無線感測網路 (Sensor Nodes) 有計劃地部署在敵可能登陸地點，也就是所謂的待感測區域 (Sensor Field)，用來蒐集各種環境資料，例如：敵登陸潛伏時，對環境所造成的變化，其變化可偵測的資料可為溫度、溼度、光度、壓力、二氧化碳濃度等，再藉由無線網路 (紅外線、無線電波、光纖介質等)，將蒐集的資訊透過無線資料蒐集器 (Wireless Data Collector) 傳回給參三作戰中心研判，進行戰術部署運用。如此將可知敵於無形之中，運用奇襲於意外之中。

目前，政府正積極推動 RFID (無線頻譜身份識別) 及無線感測網路建設¹⁵，國軍若能順勢導入這兩項技術，在年度漢光演習中作實兵驗證，將每位前線部隊官兵身上放入 RFID 識別晶片，同時在一開放地形中建置無線感測網路之設

¹⁴ V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," in IEEE INFOCOM '97, 1997, pp. 1405-1413.

¹⁵ Taiwan.CNET.com, 「政府推動 RFID 及無線感測網路建置計畫」，曠文濤，23/11/2005，<http://taiwan.cnet.com/news/comms/>

備，指揮官即可結合軍事電子地圖或衛星地圖觀察營、連、排，甚至到單兵之戰術位置是否適切；在兵科協同或聯合軍種作戰上，則可應用在友軍間之身份辨識，特別是兵科協同中，有不同兵科交錯執行不同的任務，步、砲、裝、工、通、化、政、後勤、後備、憲兵、陸戰隊等兵科軍種，一起執行不同的任務，若能有快速身份識別機制，則可免於發生誤擊事件。

資策會電子商務研究所數位運籌中心主任梁中平指出，政府將著墨在無線感測網路建設，因為無線感測網路可以監測四面八方感應到的資料，其與 RFID 結合後，可進一步確保資料的完整性。他舉例：假若醫療院所感應到人員進出後，隨即可以利用 RFID 可以確認對方身份，兩者結合的保全系統可應用在人員進出控管安全上。

相對地，假若在軍事保全、偵察、監控等方面，特別在資安控管這方面，人員一直是資安控管的重點，若能利用這兩項技術，把所有的資訊設備貼上 RFID 的標籤，就能掌握物件在營區的何處，誰在使用，是否有攜出入營區，管制物料、掌握更多的資料。相信這兩項技術的使用與佈建，讓國軍各層面能更快速掌握突發事件，建立危安處理機制，結合資訊化回報機制，讓所有官士兵能知天、知地、知敵、知己、知其任務，達到數位化戰場的目標。

結論

政府建設導入 RFID（無線頻譜身份識別）與無線感測網路技術，兩者搭配實現「U（Ubiquitous）台灣」計畫。U 台灣計畫為 M 台灣計畫後的下一步。該計畫引人注目的原因，並非如同 Wi-Fi 或 WiMax 等無線網路技術，可提供無線環境的高速資料量傳輸。反之，其重點在於利用 RFID 及其他無線網路技術，與 GSM、GPRS、3G，以及 Bluetooth、UWB 等不同領域的通訊技術相互組合搭配，形成一無所不在的網路。

資策會協助政府以 ZigBee 技術做為無線感測網路的骨架¹⁶，試行在醫療、交通運輸、居家照顧等領域，利用無線感測網路監測、追蹤以及蒐集資料。對國防建設而言，是一喜訊，也是一自主國防的機會，透過政府主導優勢科技，應用在軍事各層面，是取民力為我力，結合全民國防理念的時刻。

韓國三星(Samsung)集團預計於 2010 年建設完成「U-City」等計畫，也是為了實現 Ubiquitous Network 環境。

¹⁶ 同註 13。

資策會電子商務研究所數位運籌中心主任梁中平指出，欲實現 Ubiquitous Network，無線感測網路不能缺席。前者除了可以和 RFID 相搭配外，亦能獨立使用。他舉例無線感測網路在公共安全的應用，其可以建制在橋墩上面，在感受到震動搖晃時，立即發出對後端設備發出警訊，「這對位於地震帶的台灣特別需要。」

現在微處理機的運算能力是以指數方式成長，無線感測網路環境應用在軍事與國家安全方面是相當有利的，包含戰況的偵測、以及國家安全的監控，對於重要的基礎建設，可採用監控方式，來偵測其健全性，並建立新的安全資訊系統，以防範恐怖組織或不良分子的破壞。

由於，無線感測網路應用相當廣泛，在本文針對軍事應用作一簡單探討，希借此激發新的軍事思維，讓科技輔助軍事偵察與戰術運用，以利戰場數位化與指管一貫化。