

**國內高科技產品戰時轉為軍用之模型建構—
以 C4ISR 裝備為主**
**Modeling of Transferring the Domestic High Technology Products into the
Battlefield Use — for C4ISR Equipments**

韓孟麒 副教授
德明財經科技大學資訊科技系
Meng-chyi Harn
Department of Information Technology,
Takming University of Science and Technology
Email: harn@takming.edu.tw

陳科全 碩士班研究生
國防大學管理學院資訊管理學系
Ke-chiuan Chen
School of National Defense Information,
National Defense University
Email: star020272127@hotmail.com

曾淼泓 博士班研究生
國防大學理工學院國防科學研究所
Miao-hung Tseng
School of National Defense Science,
National Defense University
Email: tmh5735@mail2000.com.tw

陳良駒 助理教授
國防大學管理學院資訊管理學系
Liang-hchu Chen
School of National Defense Information,
National Defense University
Email: nctuhorse@gmail.com

摘 要

由於國防體系所採購的高科技產品大都向國外廠商採購，但有許多的高科技產品是由國內廠商販售給國外，使得國防採購經費平白無故的讓國外廠商賺一手。本文的研究動機乃是當 C4ISR 裝備被摧毀時，希望能在短時間內在國內找到功能性類似的替代品。本研究藉由 RH 模型(Relational Hypergraph Model)、數學集合模型及系統雛型演進理論，來說明如何利用國內高科技相關產品來取代 C4ISR 系統的戰場物件，進而對國防部的施政有所助益。

關鍵字：指管通資情監偵系統、戰場物件、系統演進、構型管理、RH 模型

一、緒論

有鑑於國內有許多的高科技產品販售給國外廠商後，幾經輾轉又回流到國防的採購體系中，使得我們採購自家產品的例子屢見不鮮，國防採購的經費平白無故地給國外廠商大賺了一手，追究其最重要的因素，就是我們國家沒有做好國防高科技產品戰時可以轉為軍用的調查與整合。

根據中山科學研究院的研究，國內的高科技廠商，在半導體、光電及汽車等產業上的表現已具世界級的水準，尤其在無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)領域的週邊產品，諸如衛星全球定位系統(Global Position System, GPS)、ZigBee 無線傳輸系統、手機相關通訊系統、...等，都有相當驚人的成就。

國內的遙控載具、紅外線夜視系統及輕型飛機等產品大都屬於指揮管制(Command and Control,

C&C) 的監視與偵察 (Surveillance and Reconnaissance)產品，國外許多廠商向我國大筆的採購，做為軍事用途；反觀我們的武器裝備採購，大都以外購為主，殊不知許多採購的品項在我們國內就有生產，若這些裝備都採取外購方式獲得，其缺點在於：籌獲成本耗費甚鉅及採購時程過長，大大地影響了我們建軍備戰的效率(Efficiency)與效能(Effectiveness)。

我們不禁會問自己，武器系統相關裝備的零組件及整合性產品，既然在國內可以獲得到，採購及整合成本又比國外低廉，為何我們要花冤枉錢去採購經過別人組裝過的「本國品」？為何我們不能夠在建軍備戰的時程壓力下，去尋找有關國內國防高科技產品的「替代品」或能提昇新效能的「新增品」？這就是本研究的最初始的研究動機。

二、問題探討

「指管通資情監偵系統」(Commands, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Systems, C4ISR Systems)是三軍作戰最重要的指揮與管制系統(Command and Control Systems, C&C Systems)，這個系統必須藉著科技的日新月異，隨著時間快速的演進，否則將無法發揮其綜效(Synergy)。

國防武器系統不管是向國外採購還是由國內自行研發，最終都要納入國軍某個 C4ISR 系統的構型管理(Configuration Management)中，形成了所謂的「系統演進」(System Evolution)的現象。

本研究藉由美軍在 C4ISR 系統發展歷程中的經驗，將研究焦點集中於國軍 C4ISR 系統的「部分」戰場物件(Battlefield Objects)，以國內高科技成熟產業中的產品戰時得以迅速轉換為軍事用途

之品項來替代或新增；由於「替代品」及「新增品」的加入，產生了系統演進後的相關問題，包括了：「替代品」及「新增品」的籌獲(Acquisition)，以及 C4ISR 系統改變構型後子系統間的交互操作相容性(Interoperability)。

美軍 C4ISR 系統發展的經驗中，大都專注在系統演進的效率與效能的評估(Efficiency and Effectiveness Evaluation)以及交互操作相容性的問題上，我們運用了 RH 模型(Relational Hypergraph Model, RH Model) [1]之模型建構概念，模擬硬體演進的過程，以解決部分系統演進中所面臨的相關問題，供後續相關研究參考，並為國軍 C4ISR 系統間交互操作相容性問題的解決奠定基礎[4]。

交互操作相容性可以說是 C4ISR 系統良窳的最重要指標，然而其相關的問題千頭萬緒，牽扯層面複雜，非單一的方法或模型可以解決；但是這些問題的產生有一個共同的特性，那就是與系統的「演進」息息相關，因為這類問題產生的主因，在於系統無法因應使用者「需求」的多样化思維而改變，並產生迅速的演進，尤其是針對尋找國內「替代品」及「新增品」的這個想法。

對於系統隨時間所產生的演進問題，其解決的依據，在於詳實的系統演進歷史紀錄與現況需求的結合；因此解決 C4ISR 系統交互操作性問題的首要步驟，即是尋找一套詳盡的系統演進歷史紀錄與評估模型。

根據上述的理由，本研究乃針對國軍 C4ISR 系統引用國內高科技產品所面對或即將面對的問題加以整理分類，希望能找出一套兼具快速反應系統演進與詳實記述系統演進過程的模型，以解決部分系統演進中所面臨的問題。

其實，國軍目前的指揮管制系統尚未全然成型，也就是說不能完全稱之為所謂的 C4ISR 系統 [4]，但比較類似所謂的 C4I 系統(Commands, Control, Communications, Computers, and Intelligence Systems, C4I Systems)，這是因為我們沒有衛星來輔助監視與偵察的工作；不過由於既有的 C4I 系統引入了監視與偵察設備的「替代品」及「新增品」與相關科技，其整體功能已接近了國外所謂的 C4ISR 系統了。

依現況而言，國軍發展 C4I 系統，已經漸漸面對了一些問題，未來國軍不斷的精實壯大，整個 C4I 系統將來一定慢慢地朝向 C4ISR 系統的方向演進，在演進的過程中，若加入國內的高科技產品，一定會有更多的衍生問題發生，茲將現行及未來可能產生的硬體演進及交互操作相容性的問題，列述如下：

(1) 系統在面臨環境因素呈指數式變異時，應變彈性不足的情況，在過去的經驗中，已有脈絡可循。系統在建案之初往往開具的是最先進的硬體規格，在系統建置成形及成熟之日卻又面臨落伍的現象。例如系統發展初期可能預估只要單中央處理器(CPU)及單記憶體(Memory)的主

機硬體規格，但是往往在系統測試階段，最後卻不得不變成雙中央處理器及雙記憶體的主機硬體規格；其間最大問題不是作業需求不符，而是硬體維修器材的籌補工作會隨時間的演進越來越困難達成，例如單中央處理器及單記憶體的主機部分零組件已停產，迫使系統不得不改變其構型。

- (2) 整體後勤維修政策落實與否，受到考驗；因為隨著時間演進，D 級維修(即專業廠站維修)能量自建的觀念(此乃源於自主性的考量)，已經不符合高成本效益的需求，再加上軟、硬體的模組化、物件化已成趨勢，而且硬體生命週期越來越短促，如何讓系統在硬體故障時在新或舊的模組必須更換的條件下，提供不只一種的更換選擇，才是合時宜的做法。
- (3) 在採購國內高科技硬體系統時應該考量本國的產業因素，否則硬體在資料傳輸時，會發生資料鏈結(Data Linkage)的問題，而且影響整個系統的績效(Performance)展現。
- (4) 在使用者需求下，C4ISR 系統中的零組件要求被更新為國內高科技產品時，若 C4ISR 系統無完整的舊需求文件，或是舊需求文件無法完全支援新需求的產生，則新的需求必須以嘗試錯誤(Try on Error)的方式產生新的系統規格，所以必須要有一套具有效率性、快速性及彈性的系統建置機制[2]。
- (5) 不同來源的武器系統及高科技產品，在沒有可相容的軟硬體架構支援狀況下，交互操作相容性勢必成為 C4ISR 系統操作的瓶頸[5]。

三、模型建構

本研究的基本理論，係以 RH 模型(Relational Hypergraph Model)[6]來正規化 (Formalize)C4ISR 系統將國內高科技產品戰時轉為軍用的演進過程，在 [6] 的研究中，已成功地將 RH 模型應用於 C4ISR 系統軟體的演進，其方法是藉由有向(Directed)圖，將 C4ISR 相關軟、硬體發展的歷程圖像化了；它的相關定義記述如下：

3.1 定義一：海波圖(Hypergraph)

一個(有向)海波圖(Hypergraph)可以表示成 $H = (N, E, I, O)$ ；這裡的

- N 是節點 (Node) 的集合，
- E 是連線 (Hyperedges) 的集合，
- $I : E \rightarrow 2^N$ 是產生連線輸入的函數，及
- $O : E \rightarrow 2^N$ 是產生連線输出的函數。

這個定義描繪了一個陽春型的海波圖(Hypergraph)，並可以藉其路徑(Path)達到追蹤軟、硬體演進的過程；簡言之是將軟、硬體演進的組件(Component)和步驟(Step)，經由標記過的節點和連線對應而形成路徑，進而由這些路徑達到追蹤(Traceability)的目的。

3.2 定義二：演進式海波圖(Evolutionary Hypergraph)

演進式海波圖集合是由一個有標記的、有方向的及非迴圈式的海波圖 $H = (N, E, I, O)$ 與兩個標記函數 $L_N : N \rightarrow C$ 及 $L_E : E \rightarrow A$ 而形成，並且必須滿足以下之假設：

- N 代表單一的軟、硬體演進組件；
- E 代表單一的軟、硬體演進步驟；
- I 與 O 是輸入與輸出函數， $O(e) \cap O(e') \neq \emptyset$ 隱含 $e = e'$ ；
- L_N 根據軟、硬體演進版本及其屬性標記集合 C 中的結點；及
- L_E 根據軟、硬體演進步驟屬性標記集合 A 中的連線，例如 $A = \{s, d\}$ 表示每個 A 的元素 (Element) 都有 (s, a') 或 (d, a') 的形式，這裡的 $a' \in A'$ ；標記“ s ”表示步驟，標記“ d ”表示分解成子元件。

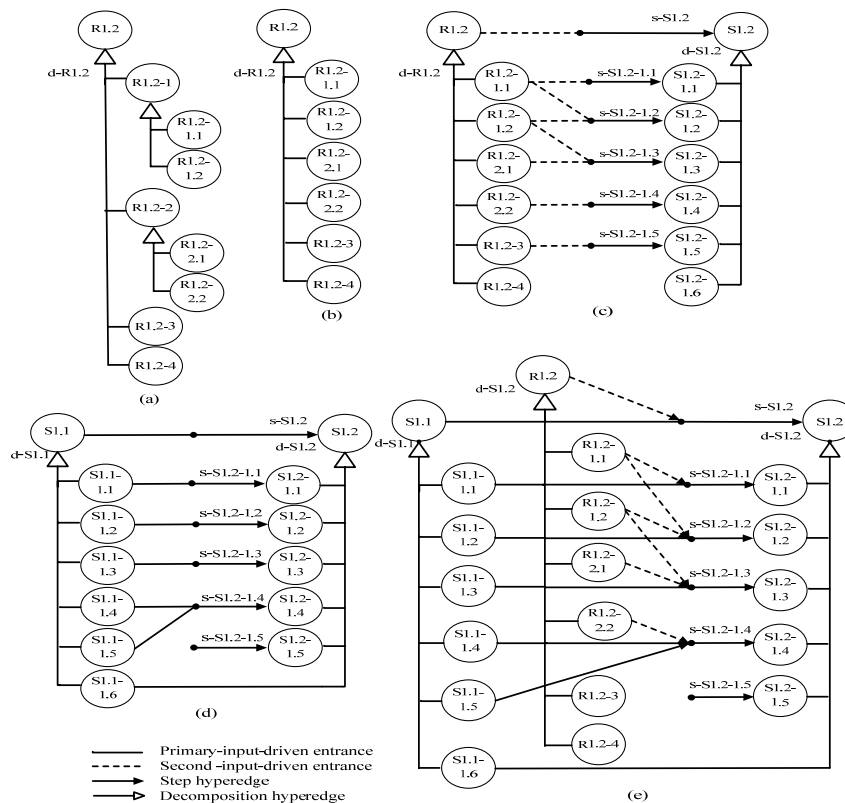
RH 模型係基於以上的定義才產生，它描述了軟、硬體演進的兩種現象：一是「主輸入驅使路徑」(Primary-Input-driven Path)，另一是「次輸入驅使路徑」(Secondary-input-driven Path)，在連線的輸入路徑上，對應的可以是許多不同的節點；若一連線對應的輸入及輸出節點，是不同版本的同一個組件，則稱之為主輸入驅使路徑，而這個輸入節點

與步驟的關係則稱之為主要輸入(Primary Input)；反之若一連線對應的輸入及輸出節點，是不同的組件，則由輸入節點經連線至輸出節點的路徑，稱之為次輸入驅使路徑，而輸入節點與步驟(連線)的關係稱之為次要輸入(Secondary Input)；整個 RH 模型是根據此概念而成的。

3.3 定義三：關聯式海波圖(Relational Hypergraph)

一個演進式海波圖 $H = (N, E, I, O)$ 若且唯若每個連線在 H 中的連線 e 及每個在 $I(e)$ 中的輸入節點 n ，兩者間的關係 (n 與 e) 不是主要輸入就是次要輸入時，稱之為關聯式海波圖。

因為每個步驟的輸入節點來自不同的進入點 (Entrance)，所以可以用多尾式的箭頭線來表示節點與步驟間的主要輸入或次要輸入關係。而整個 RH 圖形集合的結構是沒有深度限制的階層式 (Unlimited-depth Hierarchy) 結構，為了將組件 (或稱節點) 與步驟 (或稱連線) 間的關係正規化，我們將焦點專注於頂層 (Top-level) 與底層 (Atomic-level) 的關係，因為一個大型的組件分解成上、中、下 (底) 三個組合層級時，中層 (Middle-level) 其實也只是底層的加總，所以可以略去，只看上層與底層兩個層級。



圖一 硬體演進關聯式海波圖

圖一為修正[1]後之硬體演進關聯式海波圖，在圖 1(a)可以得知 R1.2 需求組件是由 R1.2-1, R1.2-2, R1.2-3, R1.2-4 所組成，且 R1.2-1 是由 R1.2-1.1 與 R1.2-1.2 所組成，和 R1.2-2 是由 R1.2-2.1 與 R1.2-2.2 所組成。圖 1(b)是頂層及底層需求組件的組合，然而圖 1(c)是說明需求組件演進至規格組件之次要需求的演進步驟。例如，從圖 1(c)可以看出 S1.2-1.2 是由 R1.2-1.1 與 R1.2-1.2 所演進之次要需求的演進過程。再者，圖 1(d)是說明規格組件演進至規格組件之主要需求的演進步驟。最後將圖 1(c)和圖 1(d)綜整成圖 1(e)；換句話說，圖 1(e)也可以拆解成圖 1(c)與圖 1(d)。有了 C4ISR 系統基本的演進數學理論(Evolutionary Mathematics Theory)雖然可以描述將國內高科技產品戰時轉為軍用的演進過程，但還不夠，我們的基本假設為：

令 IT 為國內高科技產品戰時轉為軍用的產品業(以下簡稱國內高科技產品業)的集合

令 IT_x 為國內某高科技產品業， $x = 1, \dots, m$

令 i_{xy} 為國內 x 高科技產品業的產品項， $x = 1, \dots, m; y = 1, \dots, n$

因此 $IT = IT_1 \cup IT_2 \cup \dots \cup IT_m$

$IT_1 = \{i_{11}, i_{12}, \dots, i_{1n}\}$

$IT_2 = \{i_{21}, i_{22}, \dots, i_{2n}\}$

...

$IT_m = \{i_{m1}, i_{m2}, \dots, i_{mn}\}$

令 S 為國軍 C4ISR 系統的集合

令 S_x 為國軍某 C4ISR 系統， $x = 1, \dots, m$

令 o_{xy} 為國軍某 C4ISR 系統的戰場物件， $x = 1, \dots, m; y = 1, \dots, n$

因此 $S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_m$

$S_1 = \{o_{11}, o_{12}, \dots, o_{1n}\}$

$S_2 = \{o_{21}, o_{22}, \dots, o_{2n}\}$

...

$S_m = \{o_{m1}, o_{m2}, \dots, o_{mn}\}$

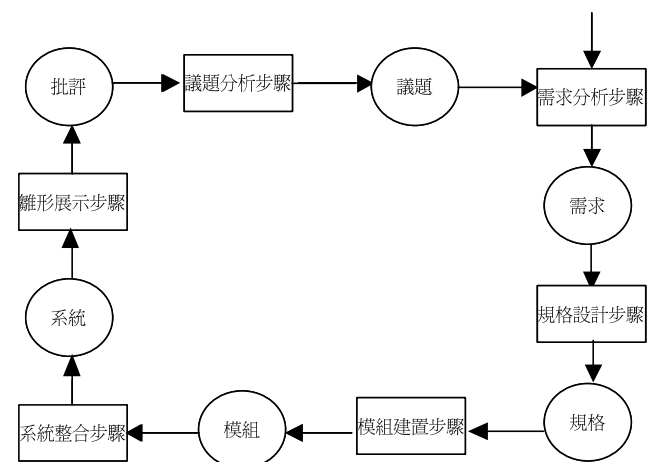
我們的主要做法是先指定欲研究的 C4ISR 系統，再去獲得該 C4ISR 系統的戰場物件集合；假設欲研究的 C4ISR 系統為 S_1 ，依上述的定義，該 C4ISR 系統的戰場物件集合則為 $S_1 = \{o_{11}, o_{12}, \dots, o_{1n}\}$ 。

我們的後續做法是依據五種戰場物件，找出某國內高科技產品戰時轉為軍用的產品業，再去獲得該高科技產品業的產品項集合；假設欲研究的某國內高科技產品戰時轉為軍用的產品業為 IT_1 ，依上述的定義，該高科技產品業的產品項集合則為 $IT_1 = \{i_{11}, i_{12}, \dots, i_{1n}\}$ 。

此時 $S_1 = \{o_{11}, o_{12}, \dots, o_{1n}\}$ 與 $IT_1 = \{i_{11}, i_{12}, \dots, i_{1n}\}$ 就會有對價關係，我們再針對細項做經濟、技術與法律等可行性評估。

此外，本研究引用[3]系統雛型演進的步驟來加以驗證。從系統雛型演進的步驟中可以得知系統硬體演進的流程，我們將定義了六個系統雛型演進的步驟，分別是：雛形展示步驟(Prototyping

Demonstration Step)、議題分析步驟(Issue Analysis Step)、需求分析步驟(Requirements Analysis Step)、規格設計步驟(Specification Design Step)、模組建置步驟(Module Implementation Step)及系統整合步驟(System Integration Step)等，每個步驟的產出(Output)分別為：批評(Criticism)、議題(Issue)、需求(Requirement)、規格(Specification)、模組(Module)及系統(System)等，如圖二所示。在本研究當中，我們藉由系統雛型演進的步驟去尋找 C4ISR 系統的戰場物件的需求，藉由需求去了解究竟哪些戰場物件是需要替換。從規格和模組取找尋產品的範圍，進而從系統中歸納出所搜尋到的產品。然而，本研究在找尋國內高科技產品時，只針對 C4ISR 裝備所產生的功能標的去搜尋我們需要的產品，也就是系統的層面，而不針對產品的技術規格層面去做探討。以及當戰場物件被摧毀時，是否能夠在短時間內在國內找到現成的產品來替代。



圖二 系統雛型演進的步驟

四、施政助益

本研究所述之現行及未來可能產生的硬體演進及交互操作相容性的問題，若我們確切掌握需求變化的脈絡，及適切引用國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用之產品，則本研究所述之問題將可以有效地被解決。

因此，本研究完成後，最少有以下對相關施政之助益：

1. 建立平戰結合，規劃國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用體系架構。
2. 了解國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用之產業有哪些？
3. 了解國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用之品項及其戰術功能。
4. 獲得國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用之可行性分析。
5. 獲得陸軍、海軍、空軍某 C4ISR 系統需求變更項目與國內高科技產品的對價關係。
6. 獲得國內高科技產品戰時轉為軍用的整體

績效評估。

7. 獲得國內高科技產品戰時轉為 C4ISR 系統運用之效能評估模型。
8. 洞悉國內高科技產品的戰術運用。
9. 洞悉民間產業參與國防科技的管道與通路。
10. 構想國內高科技產品的徵購及徵用方法。
11. 解決目前國防武器系統向國外採購獲政策所衍生之問題，如：籌獲成本耗費甚鉅、獲得期程過長、...等。
12. 縮短國軍戰備成軍期程與增加戰時支援作戰效益。
13. 鼓勵民間學術研究團隊及國內高科技廠商投入國防武器相關裝備的研發與生產。
14. 杜絕國內高科技產品由國外售回本國的回流採購。
15. 預先規劃國內高科技產品戰時得以迅速轉換為軍事用途之作業。
16. 了解國軍現有相關裝備置換為國內高科技替代產品的整體效能。
17. 提供國防部做為相關施政參考。

五、結論與未來研究方向

本研究最初的想定是當發生戰時，且 C4ISR 戰場物件被摧毀，然而能夠在短時間之內找出國內高科技產品取代 C4ISR 戰場物件。再者，希望透過本研究能找尋出國內高科技產品在戰時及時取代之方案。在未來研究方向上，本研究將會參觀與訪談各軍種相關單位，並且使用問卷、焦點團體討論...等方式，來了解 C4ISR 裝備品項與規格。如此一來，才能確切地了解國內高科技產品與 C4ISR 戰場物件之間對應的關係。

本文中所有模型應藉由實證研究來驗證其可行性，未來驗證研究之方式為：本研究針對 C4ISR 裝備做分類，且對 C4ISR 裝備只談功能，暫不談技術，研究目標在搜索、偵察及辨識裝備上，並且不探討主系統還是次系統裝備的組件或零組件，故本研究未來擬探討主系統的「功能面」若遭破壞，在國內是否有現貨可以取代。再者，本研究可在國內先詢問國防部內部是否有功能接近的替代產品，最後再藉由科技管理對產業分析的角度來實做。

參考文獻

- [1] 杜黎明，王正航，韓孟麒，"應用RH模型探討C4I系統之硬體演進," 第八屆國防管理暨實務研討會，台北，民國八十九年六月，pp. 817-830。
- [2] *Report of the Defense Science Board Task Force on Readiness*, Washington, DC: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, June, 1994.
- [3] Luqi, "Formal Methods Promises and Problems," *IEEE Software*, January 1997, pp. 73-85.
- [4] J. A. Hamilton, J. L. Murtagh and J. C. Deal, A

Basis for Joint Interoperability, *Proceedings of 1999 Command and Control Research and Technology Symposium*, United States Naval War College, Newport, Rhode Island, June 29 - July 1, 1999, pp.1067-1076.

- [5] I. Sommerville, *Software Engineering*, Addison-Wesley, 2004.
- [6] M. Harn, Cheng-hang Wang and Miao-hung Tseng, "Architecting a C4ISR System Based on the Huge-grain System Theory," *Journal of Software Engineering Studies*, Vol. 2, No. 2, December 2007.