

國防企業架構與 C4ISR 系統架構的轉換關係

The transformation relationship between defense enterprise architecture and C4ISR system architecture

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

摘要

本研究的目的，在探討國防企業從不正型架構，到 C4ISR 系統正型架構的轉換過程，在這個轉換過程中，去發現其基本結構，並驗證 DoDAF 產品與這個基本結構的關係。

「架構」可以表達系統的基本組織，包括了組織中的元件，元件之間的關係，以及在設計及進化中，牽引它的相關環境與準則。「架構」是由系統基本元件所組成，部分相關元件間，有其脈絡關係，並與系統之組織結構息息相關。通常「架構」的組成，一定會受環境的影響，並依企業的經營準則而構型；環境指的是企業的內部環境與外部環境，經營準則可以指導架構的設計，經營準則的改變，可以導引架構的進化。

為了要說明國防企業架構與 C4ISR 系統架構，首先我們洞悉「架構」的基本結構。「架構」是一種層級式(Hierarchy)的結構，層級式的結構有許多不同的表達方式，包括了：樹狀結構、堆疊結構、圓盤結構、字串結構、集合結構與規則結構等，其中以樹狀結構最容易被理解。

本研究從國防企業對 C4ISR 系統的資訊需求，探討其被誘發的過程，並針對需求理論、組理理論與系統理論探討國防企業架構，針對結構化方法、物件導向方法、DoDAF 方法及相關工具探討 C4ISR 系統架構。

關鍵字：國防企業架構、C4ISR 系統架構、DoDAF、正型方法

一、緒論

本研究的目的，在探討國防企業從不正型架構到 C4ISR 系統正型架構的轉換過程，在這個轉換過程中，去發現其基本結構，並驗證 DoDAF 產品與基本結構間的關係。

2000 年 IEEE STD 1472 對「架構」(Architecture)的定義如下：

the fundamental organization of a system

embodied in its components, their relationships to each other, and to the environment and principles guiding its design and evolution.

它說明了「架構」可以表達系統的基本組織，包括了組織中的元件，元件之間的關係，以及在設計及進化過程中，與它牽引的相關環境與準則。

「架構」是由系統基本元件所組成，部分相關元件間，有其脈絡關係，並與系統之組織結構息息相關。

通常「架構」的組成，一定會受環境的影響，並依企業的經營準則而構型；環境指的是企業的內部環境與外部環境，經營準則指的是指導架構設計的規則，經營準則的改變，可以導引架構的進化。

「架構」可以是靜態表現，也可以是動態表現。靜態的架構，只是表現架構在進化過程中，某一時段中的穩定現象；動態的架構，則是表現架構在進化過程中，許多連續時段中的不穩定現象，通常是有版本控制與構型管理(Version Control and Configuration Management, VCCM) 的問題 [4][5][7]。

由於每一個版本的系統「架構」是有其生命週期，每一個生命週期都必需經由分析、設計、建置、測試與維護的過程[10]。

在系統的一個生命週期中，其基本「架構」是不會改變的，若因環境的影響以及企業的經營準則改變，「架構」可以小幅調整及大幅修正，若是小幅調整則稱之為「維護」，若是大幅修正則稱之為「進化」[4]。

所以，系統「架構」是一個有機體，它會成長，其最大的動力來自資訊科技之硬體、軟體、資料庫與網路技術的進步。

資訊科技因硬體及軟體技術(Hardware and Software Technology)的興起，Richard Nolan 於 1972 年在哈佛管理評論(Harvard Business Review)中提出企業由沒有資訊系統到有資訊系統的企業「資訊系統架構」演進模式(Evolution Model)，又稱之為：資訊系統管理的四階段模式(Richard Nolan's

Four-stage Model/Theory/Hypothesis of Information System Management))，它包括了：起始期(Initiation)、擴散期(Expansion)、定型期(Formalization)(又稱之為控制期(Control))及成熟期(Maturity)。

資訊科技因資料庫技術(Database Technology)的興起，對企業「資訊系統架構」產生了演進的現象，Nolan 在 1979 年提出了資訊系統管理的六階段模式(Nolan's Six-stage Model/Theory/Hypothesis of Information System Management)，即：起始期(Initiation)、擴散期(Contagion)、控制期(Control)、整合期(Integration)、資料管制期(Data Administration)及成熟期(Maturity)；其中資料管制期的特色為首席資訊長(Chief Information Officer, CIO)能和首席作業長(Chief Operation Officer, COO)、首席財務長(Chief Financial Officer, CFO)、...等一級主管併列為企業的重要幹部，而成熟期的特色為首席資訊長為企業一級主管中最重要之幹部，並為企業執行長(Chief Executive Officer, CEO)的候選人。

資訊科技因網路技術(Network Technology)的興起，對企業「資訊系統架構」產生了演進的現象，Nolan 在 1995 提出資訊系統管理的 3 S 模式(Nolan's 3 S Model (Theory, Hypothesis) of Information System Management)，將模式區分為：1960-1980 年的資料處理時代(Data Processing Era, DP Era)、1980-1995 的微時代(Micro Era)及 1990 到現在的網路時代(Network Era)。

因此，架構的產生與進化，可以說明國防企業架構與 C4ISR 系統架構的轉換關係，每一次的轉換，都是不同的資訊科技與企業目標所引導。

二、架構的基本結構

為了要說明國防企業架構與 C4ISR 系統架構，首先我們洞悉一下「架構」的基本結構。

「架構」是一種層級式(Hierarchy)的結構，層級式的結構有許多不同的表達方式，包括了：樹狀結構、堆疊結構、圓盤結構、集合結構、字串結構與規則結構等，其中以樹狀結構最容易被理解，茲將各種基本結構說明如下：

(一) 樹狀結構(Tree Structure)

樹狀結構基本上就是把「架構」描述成一棵樹(Tree)，它包括了樹根(Root)、節點(Node)、樹葉(Leaf)與樹幹(Trunk)，樹根及節點可分叉(Branching)，分叉的數目稱之為分叉因子(Branching Factor)。

節點可以分為父節點(Parent Node)與子節點(Child Node)，樹根為最上層的節點，樹葉為最下層的節點，而樹葉是不可再分解的節點，又稱之為原子節點(Atomic Node)，一個節點的每個子節點間是沒有次序(Order)的區別。

以陸軍數位化戰車旅(Army Digital Brigade for Tanks, ADB-T)的C4ISR系統為例[6][7]，ADB-T系統的戰場物件可以分為五類，分別是：軍事人員

(Military People (P))、武器系統(Weapon Systems (W))、導航系統(Navigation Systems (N))、平台感應器(Platform Sensors (S))及通訊鏈路(Communication Links (C))等五類的戰場物件(Battlefield Objects (O))，其中使用ADB-T系統的軍事人員包括了：旅長、營長、連長、副連長及車長；所使用到的終端武器系統包括了：裝甲車及迫擊砲；所使用到的導航系統包括了：地理資訊系統、PDA、37A及小型無線電機；所使用到的平台感應器包括了：GPS衛星定位系統、數位攝影機及PDA；所使用到的通訊鏈路包括了：手持式GPRS接收器、WiFi、GPRS(2.5G)&3G、基地台、ISP供應者、WiMAX、Gateway、37A、小型無線電機、車內通話器頭盔及遠距無線Zigbee傳輸器；ADB-T之樹狀結構圖，如圖1所示。

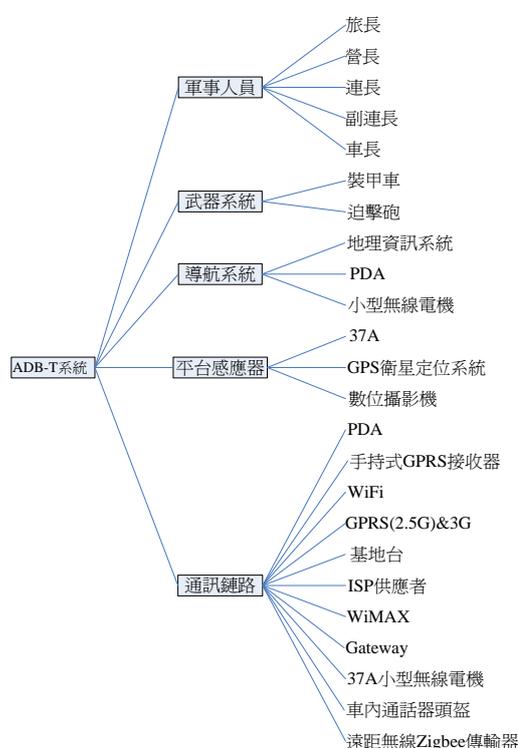


圖 1 ADB-T 之樹狀結構圖

(二) 堆疊結構(Stack Structure)

堆疊結構基本上就是把「架構」描述成一個網球筒，它可以容納各種不同大小的網球筒及網球。

最大的網球筒就是樹狀結構的樹根，其他不同大小的網球筒就是樹狀結構的節點，網球就是樹狀結構的樹葉。

堆疊結構層級關係為：每個網球筒可裝比它小一層級的網球筒或網球，而且沒有次序的區別，網球筒可裝比它小一層級的網球筒或網球的數量就是樹狀結構的分叉因子。

例如 ADB-T 系統的戰場物件可以描述成堆疊結構，如圖 2 所示。



圖 2 ADB-T 系統戰場物件之堆疊結構

(三) 圓盤結構(Disk Structure)

圓盤結構基本上就是把「架構」描述成一個盤子，它可以容納各種不同大小的盤子及水果。

最大的盤子就是樹狀結構的樹根，其他不同大小的盤子就是樹狀結構的節點，水果就是樹狀結構的樹葉。

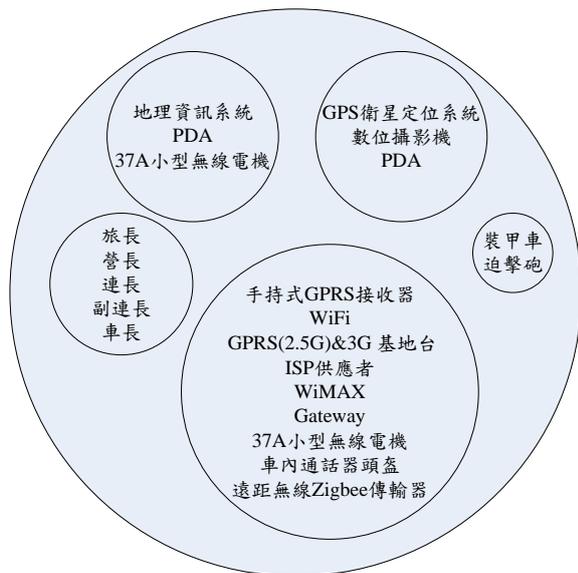


圖 3 ADB-T 系統戰場物件之圓盤結構

圓盤結構層級關係為：每個盤子可裝比它小一號的盤子或水果，而且沒有次序的區別，盤子可裝比它小一號的盤子或水果的數量就是樹狀結構的分叉因子。

例如 ADB-T 系統的戰場物件可以描述成圓盤結構，如圖 3 所示。

(四) 集合結構(Set Structure)

集合結構基本上就是把「架構」描述成一個集合(Set)，它可以容納元素(Element)，包括了子集合(Subset)及原子元素(Atomic Element)。

最外層的集合就是樹狀結構的樹根，其他不同的子集合就是樹狀結構的節點，原子元素就是樹狀結構的樹葉。

集合結構層級關係為：每個集合容納次一層級的子集合或原子元素，而且沒有次序的區別，集合可以容納次一層級的子集合或原子元素的數量就是樹狀結構的分叉因子。

以陸軍數位化戰車旅(Army Digital Brigade for Tanks, ADB-T)的C4ISR系統為例[6][7]，各戰場物件的原子元素定義如下：

1. 軍事人員

使用 ADB-T 系統的軍事人員為 $P = \{ \text{旅長, 營長, 連長, 副連長, 車長} \}$ 。

2. 武器系統

ADB-T 系統所使用到的終端武器系統為 $W = \{ \text{裝甲車, 迫擊砲} \}$ 。

3. 導航系統

ADB-T 系統所使用到的導航系統為 $N = \{ \text{地理資訊系統, PDA, 37A, 小型無線電機} \}$ 。

4. 平台感應器

ADB-T 系統所使用到的平台感應器為 $S = \{ \text{GPS衛星定位系統, 數位攝影機, PDA} \}$ 。

5. 通訊鏈路

ADB-T 系統所使用到的通訊鏈路為 $C = \{ \text{手持式GPRS接收器, WiFi, GPRS(2.5G)&3G, 基地台, ISP供應者, WiMAX, Gateway, 37A, 小型無線電機, 車內通話器頭盔, 遠距無線Zigbee傳輸器} \}$ 。

(五) 字串結構(List Structure)

字串結構基本上就是把「架構」描述成一個資料結構中的字串(List)，它可以容納字串及原子(Atom)。

最外層的字串就是樹狀結構的樹根，其他不同的字串就是樹狀結構的節點，原子就是樹狀結構的樹葉。

字串結構層級關係為：每個字串容納次一層級的字串或原子，而且沒有次序的區別，字串可以容納次一層級的字串或原子的數量就是樹狀結構的

分叉因子。

LISP(List Processor)語言是最可以處理字串結構的工具，例如我們可以把集合結構中 ADB-T 系統的戰場物件資料定義成如下的字串：((旅長 營長 連長 副連長 車長) (裝甲車 迫擊砲) (地理資訊系統 PDA 37A 小型無線電機) (GPS 衛星定位系統 數位攝影機 PDA) (手持式 GPRS 接收器 WiFi GPRS(2.5G)&3G 基地台 ISP 供應者 WiMAX Gateway 37A 小型無線電機 車內通話器 頭盔 遠距無線 Zigbee 傳輸器))，若要對字串中的資料做處理，可以對這個字串下 CAR 或 CDR 等相關指令。

(六) 規則結構(Rule Structure)

規則結構基本上就是把「架構」描述成產生式規則(Production Rule)，產生式規則可以區分為先決條件(Precondition)與結論(Consequence)兩個部分，樹狀結構中的樹幹與相關節點所形成的路徑(Path)，就是一條產生式規則。

樹狀結構中路徑中的樹葉，就是產生式規則的結論，其他節點就是產生式規則的先決條件。

例如在作戰的規則裡，戰力和態勢是取決於作戰行動的關鍵，若我方為 A，敵方為 B，其戰法可以分析成戰法分析決策樹(Decision Tree)，如圖 4 所示。

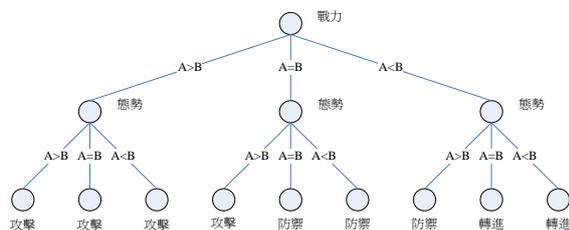


圖 4 戰法分析決策樹

根據戰法分析決策樹，可以寫出九條的產生式規則，列示如下：

Rule 1: (if (and (戰力 (> A B)) (態勢 (> A B))) (then (攻擊 A B)))

Rule 2: (if (and (戰力 (> A B)) (態勢 (= A B))) (then (攻擊 A B)))

Rule 3: (if (and (戰力 (> A B)) (態勢 (< A B))) (then (攻擊 A B)))

Rule 4: (if (and (戰力 (= A B)) (態勢 (> A B))) (then (攻擊 A B)))

Rule 5: (if (and (戰力 (= A B)) (態勢 (= A B))) (then (防禦 A B)))

Rule 6: (if (and (戰力 (= A B)) (態勢 (< A B))) (then (防禦 A B)))

Rule 7: (if (and (戰力 (< A B)) (態勢 (> A B))) (then (防禦 A B)))

Rule 8: (if (and (戰力 (< A B)) (態勢 (= A B))) (then (轉進 A B)))

Rule 9: (if (and (戰力 (< A B)) (態勢 (< A B))) (then (轉進 A B)))

三、國防企業架構

國防企業架構轉換成 C4ISR 系統架構所使用的基本理論是正型理論(Formal Theory)，包括了：需求理論、組織理論與系統理論，茲將各理論說明如下：

(一) 需求理論(Requirements Theory)

人們所處的現況(Current Situation)與想要達到某個目的未來的狀況(Future Situation)兩者之間所產生的差距，稱之為需求(Requirements)；其中未來的狀況指的是人們所追求的目標(Goal)或願景(Foresight)。

人們的資訊需求是可以被誘發(Elucidated)出來的，這個行為要藉由廣告(Advertisement)來完成，其實這也是一種行銷(Marketing)的行為。

例如企業未資訊化之前的企業模式(Business Model, BM)是現況，企業模式資訊化之後的資訊模式(Information Model, IM)是未來狀況，兩者之間產生了差距，因此就有了資訊化的需求；此時若決策者沒有意願資訊化，做幕僚的人或推銷者會想盡辦法誘發決策者的需求，給他做經濟性的成本效益分析，促使決策者同意企業的資訊化，這就是一種成功的行銷行為。

未來的戰爭是數位化的戰爭，在數位化戰場的趨使下，研發不同類型的 C4ISR 系統，就成為國軍必走的路，因為新系統的開發及老舊系統的進化，會讓國軍對 C4ISR 系統的需求永遠不會停止。

(二) 組織理論(Organizational Theory)

安東尼(Anthony)的企業組織層級圖(Business Organization Hierarchical Graph)將企業組織的結構描述的最好，此結構的型狀像埃及的金字塔(如圖 5 所示)，其 X 軸指的是功能面(Functional Phase)，包括了：人事(Personnel)、會計(Accounting)、研發(Research and Development, R&D)、採購(Procurement)、生產(Production)、行銷(Marketing)、後勤(Logistic)、服務(Service)、...等構面；其 Y 軸指的是層級面(Hierarchical Phase)，包括了：高階層的策略規劃(Strategic Planning)、中階層的管理控制(Management Control)及低階層的作業控制(Operational Control)等三大構面。

在功能面中的每一構面，稱之為企業活動，而人事、會計、研發、...等企業活動，被歸納為企業的次要活動(Minor Activities)，又稱之為企業的支援性活動(Supporting Activities)；採購、生產、行銷、後勤、服務、...等企業活動，被歸納為企業的主要活動(Major Activities)。

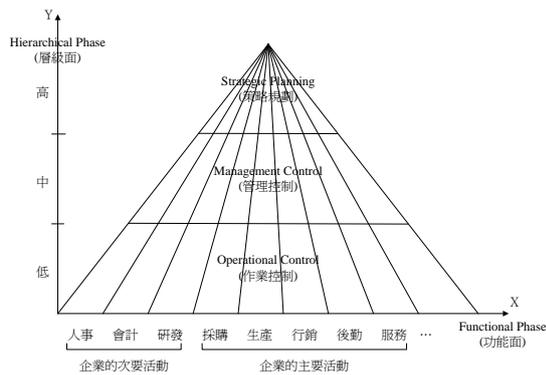


圖 5 安東尼(Anthony)的企業組織層級圖

(三) 系統理論(Systematic Theory)

依安東尼的企業組織層級圖所衍生出來的企業資訊系統架構體系圖(The Architectural Graph of Business Information System)，其功能面包括了：人事管理、會計、研發、...等有關企業次要活動的資訊系統，及採購管理、生產管理、行銷管理、後勤管理、顧客服務、...等有關企業主要活動的資訊系統；其層級面(由低到高)包括了：電子資料處理系統(Electronic Data Processing System, EDPS)、狹義的管理資訊系統(Micro Management Information System, Micro MIS)、決策支援系統(Decision Support System, DSS)、高階主管資訊系統(Executive Information System, EIS)及策略資訊系統(Strategic Information System, SIS)等，如圖 6 所示。

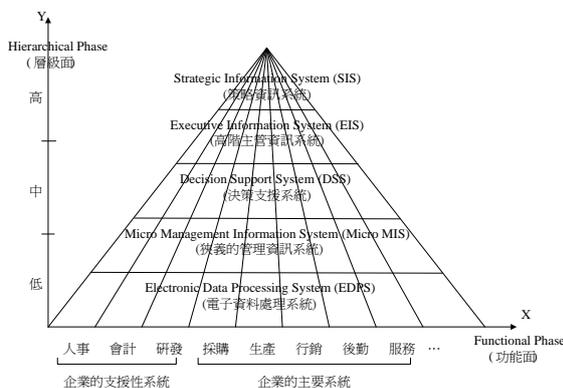


圖 6 企業資訊系統架構體系圖

以國軍為例，國防資訊系統架構體系，在功能面是由國防部各聯參與陸、海、空、聯勤各軍種組合而成，在層級面是由不同層級的國防資訊系統或 C4ISR 系統所架構而成。

四、C4ISR 系統架構

國防企業架構轉換成 C4ISR 系統架構所使用的是正型理論，這個理論早期在 IBM 公司所提的企業系統規劃(Business System Planning, BSP)中已

使用過，其內容為：擬定資訊系統規劃的工作計畫(Job Planning)、進行初步的需求評估(Requirements Evaluation)、進行目前的環境評估(Environment Evaluation)、定義整體的系統架構(System Architecture)及定義建置的策略和計劃(Implementation Strategy and Plan)等[10]。

從過去到現在正型理論已有很多種應用，只要企業要資訊化，一定是從不正型走向正型[8]，例如結構化方法(Structured Method)與物件導向方法(Object-oriented Method)[9][11]。國防企業架構轉換成 C4ISR 系統架構也是這樣，美國國防部建議的方法就是美國國防部企業架構規範(DoD Architecture Framework, DoDAF)。美國國防部於 2007 年 4 月公佈 DoDAF V1.5，其中包括了：綜合觀點、作戰觀點、系統觀點與技術標準觀點共二十六項產品[1][2]；2009 年 5 月公佈 DoDAF V2.0 其中包括了：綜合模組、戰力模組、資料資訊模組、作戰模組、計畫模組、服務模組、標準模組、系統模組等八模組，五十二種模組產品。這些產品是正型化過程中的產物[3]。

以架構的觀點來看 C4ISR 系統的建置或演進，都要從 C4ISR 系統的任務目標(Mission Objective)來著手，由任務目標來開發系統。茲將從企業模式(Business Model, BM)轉換成資訊模式(Information Model, IM)的一般相關架構說明如下：

(一) 組織架構(Organization Architecture)

組織架構可以分為：國防企業組織架構的現況(As-is)以及國防企業組織架構的未來狀況(To-be)。現況指的是未有 C4ISR 系統的國防企業組織，未來狀況指的是將來引用 C4ISR 系統後的國防企業組織，這個轉換包括了企業過程的再工程(Business Process Reengineering, BPR)。

(二) 目標架構(Mission Objective Architecture)

目標架構可以分為：國防企業組織目標架構的現況以及國防企業組織目標架構的未來狀況，現況指的是未有 C4ISR 系統的國防企業組織目標，未來狀況指的是開發 C4ISR 系統的國防企業組織目標。

(三) 科技架構(Technology Architecture)

有了國防企業組織目標架構的現況以及國防企業組織目標架構的未來狀況，我們就有了開發 C4ISR 系統的需求；這時若要完成這個目標，就必須要藉助資訊科技。每個國防企業組織目標架構的子目標又稱之為關鍵性成功要素(Critical Success Factor, CSF)，找到了 CSFs 後就必須給予排定優先次序(Priority)，以決定子目標要在近程、中程還是遠程來達成。決定要完成的子目標後，再來評估最新的資訊科技，並編列預算以完成之。

(四) 系統架構(System Architecture)

系統架構可以分為：C4ISR 系統架構的現況以

及 C4ISR 系統架構的未來狀況。現況指的是老舊的 C4ISR 系統架構，未來狀況指的是即將完成的 C4ISR 系統架構。

系統架構的未來狀況指的是依據國防企業組織目標架構的未來狀況，經過資訊科技的建置所完成的新 C4ISR 系統。

國防企業架構現況轉換成 C4ISR 系統架構未來狀況的過程，如圖 7 之資訊系統演進過程圖所示，其中最左圖為國防企業架構無 C4ISR 系統架構，最右圖為國防企業架構與 C4ISR 系統架構合而為一，中間的兩圖為國防企業架構包含了不同範疇的 C4ISR 系統架構。在圖 7 中 BM 可以用國防企業架構表達，IM 可以用 C4ISR 系統架構表達。

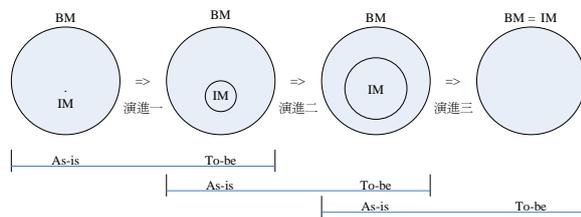


圖 7 資訊系統演進過程圖

在發展或演進的過程中的組織架構、目標架構、科技架構與系統架構可以由 DoDAF V1.5[1][2] 或 DoDAF V2.0 來描述[3]。

五、結論

本研究在說明國防企業模式轉換成資訊模式的演進架構，其中包括了組織架構、目標架構、科技架構與系統架構。若國防企業模式沒有開發 C4ISR 系統，就只有組織架構與目標架構；若國防企業模式在數位化戰場的驅使下，有了資訊化的需求，就會逐步走向正型化的境界，在這個轉換的過程中，一定是先藉由架構來描述。

在企業界可以引用傳統的結構化方法，也可以引用現代的物件導向方法，在國防的應用上，我們建議採用美國國防部的 DoDAF V1.5 或 DoDAF V2.0 方法，因為可以統一描述的工具。

DoDAF 是結合了結構化工具(Structured Tools)物件導向工具(Object-oriented Tool)、IDEF 工具(Integrated Computer-Aided Manufacturing DEFinition Tools, ICAM DEFinition Tools)、實體關係圖(Entity Relationship Diagrams, ER Diagrams)、層級樹(Hierarchical Trees)、表格(Tables)、矩陣(Matrixes)、本文(Texts)及圖(Graphics)等正型化的工具，這些工具包括了本文所述的樹狀結構、堆疊結構、圓盤結構、集合結構、字串結構與規則結構等，以及輔助說明的工具，它們可以將國防企業架構轉換成 C4ISR 系統架構。

參考文獻

- [1] P. P. Bienvenu, D. Kim and A. H. Levis, *C4ISR Architectures III: An Object-Oriented Approach to Architecture Design*, C3I Center, George Mason University, Fairfax, VA., April 2000.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group, *DoD Architecture Framework Version 1.0 Deskbook*, February 9, 2004.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group, *DoD Architecture Framework Version 2.0*, Vol. 1, May 19, 2009.
- [4] M. Harn, V. Berzins, Luqi, and W. Kemple, "Evolution of C4I Systems," *Proceedings of 1999 Command and Control Research and Technology Symposium*, United States Naval War College, Newport, Rhode Island, June 29 - July 1, 1999, pp.1361-1380.
- [5] M. Harn, S. Hsu, V. Berzins, and Luqi, "Battlefield Object Control via Internet Architecture," *Proceedings of 2002 Command and Control Research and Technology Symposium*, United States Naval Postgraduate School, Monterey, California, June 11 - June 13, 2002.
- [6] M. Harn, "A Formal Model for C4ISR Systems," *The Second Taiwan Conference on Software Engineering*, Taipei, Taiwan, June 9-10, 2006.
- [7] M. Harn and Cheng-hang Wang, "The DoDAF Support for a Huge-grain C4ISR System," *The Third Taiwan Conference on Software Engineering*, Taichung, Taiwan, June 8-9, 2007.
- [8] Luqi, "Formal Methods Promises and Problems," *IEEE Software*, January 1997, pp. 73-85.
- [9] S. Malerud, E. H. Feet, and U. Thorsen, "A Method for Analyzing Command and Control Systems," *Command and Control Research and Technology Symposium*, Naval Postgraduate School, California, June 29 - July 1, 1998, pp. 231-240.
- [10] I. Sommerville, *Software Engineering*, Addison-Wesley, 2004.
- [11] L. W. Wagenhals, I. Shin, D. Kim, and A. H. Levis, *C4ISR Architectures II: A Structured Analysis Approach to Architecture Design*, C3I Center, George Mason University, Fairfax, VA., April 2000.