

軟體專案複雜度量模式的建立與應用－整合 PERT 網路與 ANP 方法

黃明祥

國立屏東科技大學資訊管
理系 副教授
mshuang@mail.npust.edu.tw

尤筱涵

國立屏東科技大學資訊管理
系 研究生
M10156008@mail.npust.edu.tw

摘要

近年來，軟體專案的多樣性和規模的增加，複雜度也逐漸上升，研究複雜度的度量已經成為學術界與產業界共同關注的議題。本研究發展一套軟體專案複雜度量模式，進行步驟如下：(1)運用分析網路程序法進行節點複雜度計算，(2)以偶數或奇數為節點數的 PERT 網路結構複雜度計算，最後整合上述兩步驟，計算出軟體專案總複雜度。本研究擬根據以上模式開發一套度量系統，為驗證本研究提出的方法在實務應用之可行性與實用性，擬以模擬法進行分析，分成低、中及高度三種複雜程度之軟體專案，各模擬 150 組，最後進行敏感度分析，據以提供專案管理者評估專案成本、時程、風險與複雜度之參考指標。本研究與目前主要複雜度量之計算方面，整合節點與結構複雜度的計算方法，在實際應用方面，計算效率、精確度及彈性均具有較佳表現。

關鍵詞：計畫評核術、分析網路程序法、軟體專案複雜度、軟體專案、度量模式。

Abstract

Recently, the complexity of software projects increases due to the diversity and scales of software projects grow rapidly. Thus, research on the complexity of software projects calls attention from the academics and practitioners. Based on the needs of practical application, this research develops a software project measurement model. Two steps are conducted to calculate the complexity of a software project. The first step is to compute the node complexity of a software project using ANP method and the second step is to calculate the structure complexity of a software project using the formulas according to the total number of nodes of a PERT network is odd number or even

number. In this research, we integrate PERT network and ANP method to compute the complexity of software projects. Furthermore, a measurement information system is developed. To examine the applicability and practicality of our proposed model, a simulation study is conducted using software projects including high complexity, moderate complexity and low complexity of software projects. One hundred and fifty set of software projects are generated to calculate complexity of software projects for each type of complexity of software projects and a sensitivity analysis is also carried out to produce the information about the complexity of software projects for project managers on the decision making such as assessment of costs, schedules and risks for software projects. Thus, our proposed method integrates the method for calculating the node complexity and structure complexity of software projects using PERT network and ANP method. Findings of this research indicate that our method is superior to mainstream methods on the computing efficiency, precision and flexibility during the application process.

Keywords: PERT, ANP, Software project complexity, Software project, Measurement model.

1. 前言

近年來，隨著企業在越複雜的經營環境中營運，軟體專案的多樣性和規模逐漸地增加，專案的複雜度也越來越高，導致複雜的軟體專案難以準確預測結果(HE et al., 2012)。事實上，許多公司已經投入了許多金錢、時間和努力來開發軟體，但失敗的軟體專案仍然非常多(Huang & Han, 2008)，根據 Standish Group 2013 年分析報告指出，雖然近年來成功的軟體專案有逐漸攀升的趨勢，但統計至 2012 年為止仍僅有 39% 的成功率，大型專案更只有 10% 的成

功率，最主要的原因在於軟體專案的時程、成本和功能特性的複雜度占有最大影響的部份，因此，若無法有效的掌握軟體專案的複雜程度，提升完成專案的成功比率將存在很大的困難度(Standish, 2013)。

過去相關研究文獻對複雜度研究主題，強調規模、風險、不確定性、時程的緊迫性和制度流程，然而專案的複雜度結構的概念卻很少受到重視及關注(Davies & Mackenzie, 2013)。因此，在軟體開發標準方面，美國專案管理學會(Project Management Institute, aPMI)開發了一個關於專案管理的標準：專案管理知識體系(Project Management Body of Knowledge, PMBOK)，此標準在專案整合、範圍、時程、成本、品質、人力資源、溝通、風險及採購管理的八大專案管理議題，提供了一種全面性描述專案複雜度的來源與度量模式(Fitsilis, 2009)。而在量化複雜度的方法方面，Kaimann (1974)定義了 The Coefficient of network complexity (CNC)，並適用任何以圖形表示的專案模型，且創建了兩種應用在計畫評核術(PERT)與具有優先順序的網路上的複雜度度量，即 PERT (activity on arrow, AOA)網路及 PERT (activity on node, AON)網路；美國匹茲堡教授 Satty 則在 1971 年發展出一套理論簡單，又具有實用價值的層級分析法(AHP)，將問題層級化並提供決策者最適合的方案順序(Saaty, 1990)；亦在 1996 年以 AHP 為基礎，改進了準則之間的相互關聯性及回饋性，提出分析網路程序法 (Analytic Network Process, ANP) (Jung & Seo, 2010)，而 ANP 亦為現今最廣為人接受的一種複雜度度量方法。

在複雜度指標的定義方面，影響軟體專案複雜度的四大因素分別為專案規模、專案成分之間的差異、專案構成的相互依賴性及專案與外部環境的相互作用(Vidal & Marle, 2008)。而影響專案複雜度要素的五大類型則有任務的複雜度、社會的複雜度、文化複雜度、執行的複雜度、認知的複雜度 (Girmscheid & Brockmann, 2008)。另一方面，即使軟體專案複雜度的概念已經在各種研究領域中進行研究，但是它的商業管理領域的應用卻比較緩慢，以致專案管理人員無法有效的掌控專案的複雜程度(Haider & Haider, 2012)。而根據現有的度量計算公式顯示，傳統的研究方法通常是透過分析專案複雜度的影響因素以找出專案複雜度的根源，然後透過管理這些因素來達到整體專案的有效控制(Baccarini, 1996；HE et al., 2012；Williams, 1999)。因此，加強專案的核心

競爭力，減少冗餘的工作，積極的研究與考量複雜度是一個很重要的方向(Teller et al., 2012)。

有鑑於此，本研究以技術、組織、目標、環境、文化及資訊等六項複雜度指標作為軟體專案代表性的複雜度指標並結合 PERT 網路與 ANP 方法，建立一套軟體專案複雜度的度量模式，期可有效協助專案管理人員者進行評估分析工作。

本研究目的敘述如下：

- 一、探討軟體專案複雜度量之相關理論、計算方法等重要議題。
- 二、針對軟體專案之複雜度因素，建立評估軟體專案複雜度的度量模式，為驗證本研究建立之模式應用的可行性，進行實證分析，並採用模擬法分析並套用在實務上應用的各種狀況與問題，提供學術界研究及實務界應用之參考。
- 三、結合 PERT 網路與分析網路程序法(ANP)之度量技術，發展一套軟體專案複雜度量資訊系統，應用在評估軟體專案複雜度決策上面，以提供軟體專案管理者能有效控制軟體專案的複雜度。

2. 文獻探討

本研究主要是探討有關軟體專案複雜度以圖論量化技術在軟體專案的度量之應用，以提供軟體專案管理者對軟體專案能有效進行複雜度的評估與控制，並改善於專案成員進行專案之現況，以利軟體專案的改進。鑑於此況，本章主要探討有關：(一)軟體專案的定義與特性，(二)複雜度的定義，(三)軟體專案複雜度之評量因子，與(四)複雜度的度量與計算公式。茲將相關文獻分述如下：

2.1 軟體專案的定義與特性

專案是指一些臨時且獨特進行並提供結果的活動(Vidal et al., 2011)，儘管複雜的專案本質上是不可預測的，專案團隊維持其開放性及廣泛的選擇性仍然是非常重要的(Haider & Haider, 2012)。而 Hass (2010)認為所有專案透過序列的傳遞都有一個週期，而這些專案週期可分為五個廣泛型態，即線性、增量、反覆、自適性和極限值。學者 Cleland (2004)認為專案的特性是展現創造或改變一些過去不存在的事物，以提供新的或強化的產品、服務或組織流程，且其中牽涉了不同程度的風險及不確定性。

然而我們在文獻中察覺到，在複雜的環境中，軟體專案或軟體專案複雜度的明確定義是缺乏的(Bosch-Rekvelde et al., 2011)，因此，明確且清楚的定義出專案的特性顯得格外重要。學者 Fitzsimmons (2011)表示，專案是具有下列三項共通的特性：

- (1) 專案經常是大規模且複雜的，其中涉及許多夥伴之間的廣泛協調與合作，而專案亦牽涉到實質上的資源及管理者的承諾與肯定。
- (2) 複雜的專案是因為活動的數量及活動彼此間的相互依存性。專案涉及許多活動項目也必須照順序來執行，其執行順序通常基於技術和策略的考量。然而，各項活動執行所需之時間和資源也必須估計，這樣對許多無先前案例可支援的創新計劃來說是相當困難的。
- (3) 專案本身是非例行性的，每個專案皆有不同特性，得以客製化的方式進行管理。

上述文獻為對「專案」的定義與特性進行說明，若針對「軟體專案」的定義與特性，根據 IEEE-SA Standards Board (1998)定義軟體專案的特性，則包含了技術與管理的需求來滿足專案協議的條件及條款，其具有特定的起始和結束日期、明確的目標與限制、責任的建立及預算和時程表。然而，軟體專案本身可能屬於一個大型軟體專案中的其中一部份，或者在專案週期裡只有一部份的軟體開發是跨專案的，亦或是跨越許多子專案來執行數年。學者 林信惠等人(2005)一書中亦認為軟體專案包含預定的目標與時程且具有獨特性，屬於暫時性的工作及資源的整合，對於結果的成敗受到外在影響甚大以及變動性大等六種具有的獨特重要特性。

由以上得知，軟體專案的特性包含了專案的整體要素，從最基本的需求、整體的時程、軟體專案最後的品質及結果等，根據軟體專案規模的大小，特性之一的複雜度亦會跟著上升或降低(Lin et al., 2008)。因此，明確定義出軟體專案的特性是有助於了解軟體專案的本質，並且在度量軟體專案複雜度的工作上，確實有其相對的重要性。

2.2 複雜度的定義

一般而言，複雜度是指由許多不同的結構與部件要素相互關連組成，其繁複、牽涉且錯綜複雜(Baccarini, 1996)，即使給予複雜度一詞最原始的要素部份以及他們相互關聯的完整

資訊，也難以用言語或字詞完整的表達並敘述它的整體特性(Nassar & Hegab, 2006)。

在軟體專案中的複雜度亦是一種常見的概念，它可以運用各種不同的方式來辨識與區別其定義(Fitsilis, 2009)。Teller et al. (2012)所定義的複雜度是指專案的規模和專案之間相互依存的程度，因此，為了加強專案的核心競爭力，並減少冗餘的工作，積極的研究與考量複雜度是很重要的方向。Haider (2012)則認為複雜度的概念和複雜度的理論是複雜的系統在一段時間內的行為，所以 HE et al. (2012)亦將軟體專案的複雜度定義區別出六個層面：

- (1) 軟體專案的技術複雜度定義：指選擇與建立技術的型態、設計、重疊的結構和專案所需依賴的操作或執行方式。
- (2) 軟體專案的組織複雜度定義：指組織的人員、組織的結構及組織裡的團隊，亦包含組織人員的作業經驗、組織結構的層級數及團隊主要的功能為何。
- (3) 軟體專案的目標複雜度定義：指軟體專案中的任務的困難度、目標的來源多寡及達成目標的方法難易度。
- (4) 軟體專案的環境複雜度定義：環境因素即指自然的環境、市場的經濟環境、政治與法規的環境，以及公司廣大的股東群們。
- (5) 軟體專案的文化複雜度定義：文化方面的複雜度是屬於較溫和的層面，且複雜的軟體專案是會牽涉到許多國家的關係，其中包含了自然的文化、產業界的文化及組織的文化。
- (6) 軟體專案的資訊複雜度定義：資訊本質上的複雜度為不確定性的因素之一，而複雜的程度取決於資訊是否跨越多重系統或平台，且其獲取資訊內容多寡的程度、處理資訊的水平高低及傳遞資訊的能力是否足夠。

Hass (2010)則建立了一個以複雜程度為基礎的軟體專案模式的框架，如表 1 所示，其中敘述了許多軟體專案複雜度的層面，包括專案時程與成本、團隊的組成與規模、專案進度的緊迫性與範圍、問題的透明度與解決方法、穩定的策略與股東群的影響力等，在表 1 中相較之下，軟體專案的規模的大小是影響複雜程度的關鍵因素之一。

綜合文獻得知，訂定出的複雜度有許多類型及層面，重要的是，倘若因未能評估複雜度的變數，很可能導致複雜度因子的相互作用太多而造成重大影響。因此，在軟體專案的開發

過程，軟體專案的不確定性和複雜度是可以影響整體專案的建構與績效(Pich et al., 2002)。

表 1 軟體專案模式之比較表—以複雜程度觀點為基礎

複雜程度	獨立軟體專案		中等複雜軟體專案		高度複雜軟體專案		高度複雜計畫(大型軟體專案)	
規模、時程、成本	規模 3~4位 團隊成員	規模 3個月 內	規模 5~10位 團隊成員	規模 3~6個月	規模 10位以上 團隊成員	規模 6~12個 月	規模 多個不同 團隊	規模 多年
	成本 25萬內	成本 25萬 ~100萬	成本 25萬 ~100萬	成本 100萬 以上	成本 數以百 萬	成本 數以百 萬	成本 數以百 萬	成本 數以百 萬
團隊組織與過往的執行	專案管理人：主管，經驗豐富		專案管理人：主管，經驗不足		專案管理人：主管，不足或無複雜專案經驗		專案管理人：主管，不足或無大型專案經驗	
	團隊：內部成員，過去都一起工作		團隊：內部成員與外部成員，過去都一起工作		團隊：內部成員與外部成員，過去不曾一起工作		團隊：不同能力和表現成績的複雜結構(例如：承辦、虛擬、多元文化的外包團隊)	
	執行方法：明確、成熟的方法		執行方法：明確及未成熟的方法		執行方法：某種程度上的明確、多樣化的方法		執行方法：不明確、多樣化的方法	
	合約：無		合約：簡單明瞭		合約：複雜		合約：非常複雜	
	承包商過往表現：無		承包商過往表現：好		承包商過往表現：未知		承包商過往表現：差	
時間、成本和能力的緊迫性與靈活性	時間/預算：彈性高		時間/預算：細微變化		時間/預算：不具彈性		時間/預算：嚴格規範	
	里程碑：小		里程碑：可實現		里程碑：抱負不凡且堅定		里程碑：積極且急迫	
	能力範圍：極小		能力範圍：可實現		能力範圍：雄心勃勃		能力範圍：需積極進取	
問題的清晰度、契機或解決方案	目標：明確且清楚		目標：明確但不太清楚		目標：明確但模糊不清		目標：不明確也不確定	
	契機或解決方案：簡單易懂		契機或解決方案：部分可以理解		契機或解決方案：含糊不清		契機或解決方案：不明確、需開創性或前所未	
需求的波動性與風險	支援客戶性：充足		支援客戶性：適當		支援客戶性：未知		支援客戶性：不足	
	需求：明瞭、簡單、穩定		需求：明瞭、不穩定		需求：難懂、易變		需求：不確定、不斷變化	
	功能性：簡單		功能性：有點複雜		功能性：很複雜		功能性：許多複雜的「功能函數」	

策略的重要性、政治上的影響及股東	策略上的支援：非常充足	策略上的支援：充足	策略上的支援：不足	策略上的支援：未知
	政治影響：無	政治影響：較小	政治影響：主要且影響核心任務	政治影響：影響多個程序的核心任務、組織、國家、成功的關鍵或實務上的生存
	溝通問題：簡單	溝通問題：具有挑戰性	溝通問題：複雜	溝通問題：艱鉅
	股東管理：簡單	股東管理：2~3個股東群	股東管理：在組織高層可見多個股東群互相矛盾的期望	股東管理：內部及外部高層可見多個組織、國家及監管群

(資料來源：本研究整理；Hass, 2010)

2.3 軟體專案複雜度之評量因子

專案複雜度是軟體專案的特性之一，它難以理解、預知及維持整體控制，甚至給予所有有關專案系統合理的完善資訊亦是專案管理重要決策之依據(Vidal et al., 2011)，且其中各部分的複雜度因素則會相互作用、影響。然而傳統的研究方法通常是透過分析專案複雜度的影響因素以找出專案複雜度的根源，然後透過管理這些因素來達到整體專案的有效控制。因此，如何找出專案複雜度的關鍵性因素已經成為專案管理的一個重要方向(Baccarini, 1996；HE, 2012；Williams, 1999)。

在一些實證研究上已經反映出專案的複雜度會影響專案的時程、成本和品質，有鑒於影響軟體專案的複雜度因素是難以精確量化的，因此許多研究者是著重於尋找出與軟體專案有關的複雜度層面，或從不同角度來探討複雜度。然而，從各方面注意到大多數的因素是屬於廣泛和模糊的概念，因此只能從軟體專案的整體角度及結構上作區別，並將重點放在確定具體影響的變數及度量類別來量化軟體專案的複雜度(Xia & Chan, 2012)。

關於專家學者對於影響軟體專案複雜度之因素來源及指標的制定文獻，本研究彙整如表 2，並根據分類指標之層面，劃分為兩大類型，茲解釋如下：

- (1) 結構維度類型：屬微觀型，以專案構成要素的層面進行細項類別劃分，識別出各種複雜性維度，以區分出複雜性的主軸。
- (2) 整體概觀類型：屬巨觀型，不直接考慮專案內部細項結構要素，以專案的整體因素進行衡量與評估，描述專案之型態、類型及周圍環境影響之層面。

表 2 軟體專案複雜度影響因素之相關文獻

類別	軟體專案複雜度因素來源或探討指標	參考文獻
(一) 結構 維度 類型	1.組織的複雜度 2.技術的複雜度	Baccarini (1996)
	1.結構的複雜度 2.不確定性	Williams (2002)
	將專案複雜度規劃為三大類： 1.組織的複雜度(成員人數、部門、組織、地區、國家、語言、時區...等) 2.資料來源的複雜度(專案規模、預算規模) 3.技術的複雜度(技術、創新系統、過程或需求中的不確定性)	Maylor (2010)
	將專案的影響因素劃分為以下四個維度： 1.以組織成員的經驗和能力應對專案複雜度的各種類型 2.專案組織結構與其他主要參與者的交流與溝通協調 3.專案文化 4.專案商業流程	Remington & Pollack (2007)
	影響軟體專案複雜度的四大因素： 1.專案規模 2.專案成分之間的差異 3.專案構成的相互依賴性 4.專案與外部環境的相互作用	Vidal & Marle (2008)
	從大型規模的專案來觀察其複雜度，分類為時間複雜度與空間複雜度。	Lin et al. (2008)
	影響專案複雜度的要素劃分為五大類型： 1.任務的複雜度 2.社會的複雜度 3.文化複雜度 4.執行的複雜度 5.認知的複雜度	Girmscheid & Brockmann (2008)
	專案複雜度要素可分為六個層面： 1.技術的複雜度 2.組織的複雜度 3.內容複雜度 4.資訊的複雜度 5.目標複雜度 6.環境的複雜度	Li et al. (2009)
	1.組織複雜度 2.技術複雜度	Fitsilis (2009)
	從文獻的探討及經驗累積的方法，總結出五十項專案複雜度的影響要素，分類為： 1.技術的複雜度(目標、規模、任務、經驗) 2.組織複雜度(大小、資料來源、專案團隊、信任及風險) 3.環境複雜度(股東、所在位置、市場狀況及風險)	Bosch-Rekveltda et al. (2010)
(二) 整體 概觀 類型	透過調查發現管理的複雜度包括任務、組織、交付、股東及團隊等整體專案管理中所涵蓋的主軸。	Maylor et al. (2008)
	影響專案複雜度的五大關鍵因素為跨組織的相互依賴性、多重管理人、組織的結構層級數、專案團隊的信任及多元的技術。	HE et al. (2012)
	運用了德爾菲(Delphi)問卷調查法，調查結果確認了六項關鍵專案複雜度的度量方法，包含建立結構與功能、結構方法、專案時程的迫切性、專案規模、地理條件和周圍的環境。	Xia & Chan (2012)

(資料來源：本研究整理)

2.4 複雜度的度量與計算公式

本研究專注於如何度量這些專案的複雜度，以及如何有效且高效率的進行評估，這是需要定義、蒐集、驗證和分析幾個規模的指標。(Pádua, 2010)，因此，必需要一種數學技術以提供一個以模組化為基礎的定量方法，使我們能判斷難以實驗及維護的軟體專案模組(Mccabe, 1976)。Davies (1973)提出了一種簡單度量的方法，如公式 2-1：

$$\text{Davies measure} = \frac{2 \times (\text{活動數} - \text{節點數} + 1)}{(\text{節點數} - 1) \times (\text{節點數} - 2)} \quad (2-1)$$

Badiru & Pulat (1995)亦提出另一種度量的方法，L 為網路中的活動數量， t_i 為活動 i 的預計工期，R 為資源類型的數量， X_{ij} 為資源類型 j 的單位所需的 I， Z_j 為資源類型 j 可供的最大值，p 為在網路中當前的前置任務的最大值，d 則是沒有資源限制的 PERT 專案工期，如公式 2-2：

$$C = \frac{p}{d} \left[\left(1 - \frac{1}{L} \right) \times \sum_{i=1}^L t_i + \sum_{j=1}^R \left(\frac{\sum_{i=1}^L (t_i \times X_{ij})}{Z_j} \right) \right] \quad (2-2)$$

Vidal et al. (2011)認為整體來說，現有的專案複雜度量方法，可將其分為三種度量類型：

- (1) 第一種度量類別為排序或時程的管理議題。如 Fitsilis (2009)運用 Project Management Body of Knowledge (PMBOK)在專案整合、範圍、時程、成本、品質、人力資源、溝通、風險及採購管理的八大專案管理議題，提供了一種全面性描述專案複雜度的因子與度量模式。
- (2) 第二種度量類別為圖形的專案結構模型。Kaimann (1974)定義了 The Coefficient of network complexity (CNC)，並適用任何以圖形表示的專案模型，且創建了兩種應用在計畫評核術(PERT)與具有優先順序的網路上的複雜度量，即 CNC (activity on arrow, AOA)網路及 CNC (activity on node, AON)網路，如下列公式 2-3 的 CNC 等於活動的平方除以事件及公式 2-4 的前述工作數量除以工作數量：

$$C = \frac{(A)^2}{(N)} \quad (2-3)$$

$$C = \frac{(\text{前述工作項目數量})}{(\text{工作項目的數量})} \quad (2-4)$$

Temperley (1981)則為前述圈數公式定義，S 為圈數，A 為箭頭數，N 為節點數，如公式 2-5：

$$S = A - N + 1 \quad (2-5)$$

而 Nassar & Hegab (2006)則改良了 CNC 會

將多餘的箭頭數考慮進去的缺點，定義了基於 AON 的專案網路複雜度(PNC)公式如 2-6：

$$C_n = \begin{cases} 100 \times \left\{ \frac{\log[a/(n-1)]}{\log[(n^2-1)/4(n-1)]} \right\} \% \text{ if } n \text{ is odd} \\ 100 \times \left\{ \frac{\log[a/(n-1)]}{\log[n^2/4(n-1)]} \right\} \% \text{ if } n \text{ is even} \end{cases} \quad (2-6)$$

(3) 第三種度量類別為系統性思維導向或資訊的整體性度量。Shannon (1948)提出傳統靜態熵的概念，是一種複雜度的度量，如下列公式 2-7：

$$Sha = -\sum \log_2(p(n_i)) \quad (2-7)$$

此外，美國匹茲堡教授 Satty 在 1971 年發展出一套理論簡單，又具有實用價值的層級分析法(AHP)，把問題層級化並提供決策者最適合的方案順序(Saaty, 1990)，Vidal et al. (2011)應用 AHP 於軟體專案複雜度的度量，將複雜度分類為規模、變數、專案相互依賴性及內文相互依賴性四個構面，並以七個模擬專案作為實證分析；Satty 亦在 1996 年以 AHP 為基礎，改進了準則之間的相互關聯性及回饋性，提出分析網路程序法(Analytic Network Process, ANP) (Jung & Seo, 2010)，HE et al. (2012)則應用 ANP 在分析軟體專案複雜度影響因素上。

Vidal et al. (2011)將軟體專案複雜度的度量方法，依照度量技術可量化層面，分為管理議題、圖形的結構、整體性分析三類，相當於複雜度類別法、網路複雜度計算法及混合法，而本研究亦將複雜度類別法細分出另一個複雜度數學模型法。因此，本研究根據上述所列之複雜度度量與計算公式，探討其重點、適用對象、優點及缺點，並做進一步分類，茲解釋如下：

- (1) 複雜度類別法：以軟體專案整體面進行分析及評估，然而有些指標是無法進行量化來衡量的。此一方法則包括專案管理知識體系(PMBOK)。
- (2) 網路複雜度計算法：以圖形化為基礎，用特定演算法或計算公式來度量整體定量。此一方法包含計畫評核術(PERT)、CNC-PERT (AOA)、CNC-PERT (AON)及專案網路複雜度法(PNC)等。
- (3) 複雜度數學模型法：用以特定之演算法或計算公式，演算出複雜度數值以進行分析。
- (4) 混合法：評估人員以專業知識及主觀性看法，配合量化指標進行度量工作，主要採用專家訪談的技術，即是介於主觀價值的判斷及客觀的量化計算。而此方法則包含層級分析法(AHP)與分析網路程序法(ANP)。

表 3 彙總上述各種度量方法與計算公式，軟體專案複雜度的度量與計算方法相當多元化，基於軟體專案的特性並透過本研究進一步審慎評估後，採用兩種度量方法，分別為專案網路複雜度(PNC)及分析網路程序法(ANP)。

表 3 複雜度的度量與計算公式之方法比較表

類別	優缺點比較		適用對象	優點	缺點
	度量方法	重點			
一、複雜度類別法	專案管理知識體系(PMBOK) (Project Management Body of Knowledge)	整合流程期限的群集和知識的領域，並提出三種軟體專案複雜度屬性：faith(不確定性)、fact(相互依賴資訊)、interaction(介面)。	主要作用於宏觀體系構建和微觀系統應用。	以軟體專案管理觀點分析複雜度因子，並列出其因子所屬之屬性可否質化或量化的。	部分屬於 faith 的複雜度屬性無法度量或計算。
二、網路複雜度計算法	PERT-Davies 度量法	此方法運用以 PERT 圖方式呈現之專案節點與活動數，計算出活動數在總節點中的比例值。	適用於應用性或技術發展之研究與評估。	計算簡單。	考量因素太少，無法完整的表達出整體複雜程度。
	PERT-Badiru 度量法	將軟體專案的工作活動數與預期時程列入考量。	適用於應用性或技術發展之評估。	將時程因素納入評估範圍，使更完善度量出軟體專案的複雜性。	考量因素集中於時程上，結果略有偏頗。
	CNC (activity on arrow, AOA)	以網路複雜率(CNC)為基礎，應用於 PERT 圖發展出的線性複雜度計算模式。	適用於應用性或技術發展之研究與評估。	度量方法簡單。	無法將逆執行或重作考慮在內。
	CNC (activity on node, AON)	以網路複雜率(CNC)為基礎，應用於 PERT 圖發展出的節點複雜度計算模式。	適用於應用性或技術發展之研究與評估。	度量方法簡單。	無法將逆執行或重作 0 考慮在內。

	PNC (project network complexity)	以 AON 為基礎所改良的專案網路複雜度計算模式。	適用於應用性或技術發展之研究與評估。	排除計算多餘的專案網路節點及線，計算值更加精準。	無法將逆執行或重做考慮在內。
三、複雜度數學模型法	Shannon 度量法	此方法適用於度量一個系統的亂度、非規律性或不定性的數學度量公式。	適用於應用性或技術發展之研究與準確計算。	計算程度深入，能考量所有複雜度因素進行嚴謹的計算及量化。	計算所需之參考數值必須具有指標性。
四、混合法	層級分析法 (AHP) (Analytic hierarchy process)	層級分析法 (AHP) 是將複雜的問題系統化，分析不同層面並給予不同的層級，並透過量者最合適的方案。	主要適用於不確性的情況下，多個評估準則決策方面。	(1) 明確定義出目標的層級，透過比較與排序，無須複雜數學計算已降低決策的複雜度與風險性。 (2) 藉由專家評估後，可量化及質化多個評估準則，作為參考指標以提供決策者最佳的方案選擇。	(1) 藉由專家主觀的賦予各評估準則分數，若受訪者不同則可能有不同分析結果。 (2) 忽略了同層級的各評估準則之間的關聯性，由於獨立且無相互關聯，可能導致分析結果的誤差值擴大。 (3) 可排列方案的優先順序，但較缺乏有效提供決策者評估效率上的改善建議。
	分析網路程序法 (ANP) (Analytic Network Process)	分析網路程序法 (ANP) 是以層級分析法 (AHP) 為基礎發展的一種新的實用決策方法。ANP 是屬於非獨立的遞階層次結構的決策方法，他對同一層級相關因素的重要性進行相互比較，具有相互依存、反饋作用的網路結構，得以提供決策者更佳方案。	主要適用於不確性的情況下，多個評估準則決策方面。	(1) 將結構劃分成控制層與網路層，區別出獨立的評估準則與具有關聯性的評估準則。 (2) 將評估準則及各鄰近層級彼此間的關聯性、重要性及回饋作用考慮在內，更為貼切實際狀況。	(1) 藉由專家主觀的賦予各評估準則分數，若受訪者不同則可能有不同分析結果。

(資料來源：本研究整理)

3. 研究方法

本研究重點主要探討軟體專案複雜度量作業的議題，以及軟體專案複雜度的評估指標，包括技術、組織、目標、環境、文化及資訊等六種複雜度因子，並針對所蒐集到之評估指標的資訊進行度量。茲架構主要分為兩個階段：制定複雜度量指標方法階段及軟體專案複雜度量系統之建立與應用階段。

3.1 研究架構

第一階段為制定複雜度量公式方法階段，本階段工作主要透過軟體專案複雜度相關文獻中找出相關的度量方法及計算公式。在指標方面，本研究整理後發現，包括技術、組織、目標、環境、文化及資訊等六項複雜度指標在軟體專案裡是最具代表性的複雜度指標。爾後，主要以計畫評核術 (PERT) 和分析網路程序法 (ANP) 為基礎做結合，並延伸出一套複雜度計算公式。在軟體專案上以網路圖表示，可分為兩大部分：單一工作節點之複雜度與整體網路圖之複雜度，計畫評核術 (PERT) 用以度量整體網路之複雜度，而分析網路程序法 (ANP) 則用以度量單一工作節點之複雜度，並將兩者所計算出之複雜度數值經過加總後，即獲得軟體專案的複雜度量結果之數據資訊。

第二階段為軟體專案複雜度量模式之建立與應用階段，本階段工作主要經由上一階段之計算及度量，建立軟體專案複雜度量模式並執行步驟，將其系統化並應用模擬法之模擬資料匯入，期能產生各種不同的軟體專案複雜度資訊及複雜度的敏感度分析資訊，以提供專案管理人評估之參考。

3.2 研究假設

由於軟體專案的複雜程度之差異頗高，為簡化計算程序，本研究針對軟體專案所發展之各項假設和限制條件敘述如下：

- (一) 假設軟體專案之複雜程度評分分數為最小值 0 到最大值 100，專案複雜度的程度分類為低度、中度及高度複雜度，並限制低度複雜度為 0 到 33 分、中度複雜度為 0 到 66 分、高度複雜度為 0 到 100 分之三種複雜程度。
- (二) 由於多複雜度因子之影響程度不同，在模擬軟體專案狀態時不排除個別因子之極端值，但考量在實際應用的可行性時，本研究擬將結果之極端值不列入參考值。
- (三) 每一組模擬的軟體專案皆無逆執行，即重

作情況發生。

3.3 複雜度度量模式之建立與應用流程

本研究之軟體專案複雜度計算公式架構，基於 PERT 網路之節點，主要分為三個部分計算，圖 1 為本研究軟體專案複雜度度量模式之應用流程：

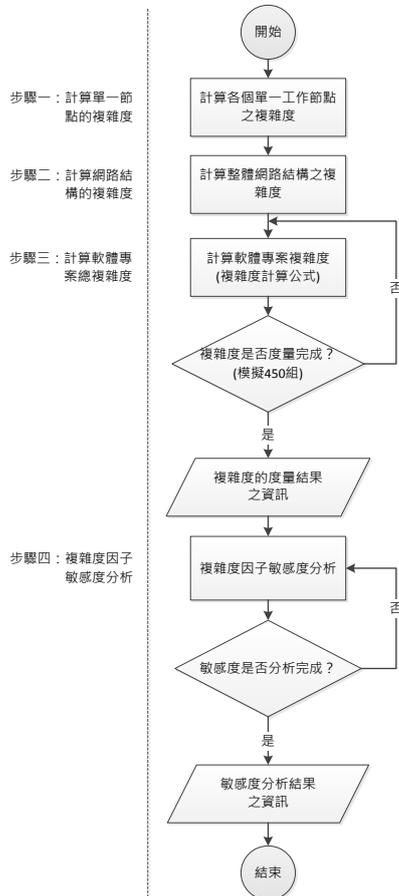


圖 1 軟體專案複雜度度量模式之應用流程

(一) 步驟一：計算個單一工作節點之複雜度

計算工作節點之複雜度，匯入模擬之軟體專案工作節點之數據，對照與表 2-5 所列之各複雜度因子權重值，進行對應後並計算出單一工作節點之複雜度值。其公式如公式 3-1，K 是單一節點的總複雜度因子數量，i 是代表第 n 個節點的第 n 個複雜度因子，C 為複雜度因子，W 為權重值。

$$\sum_{i=1}^{K=6} (C_i \times W_i) \quad (\text{公式 3-1})$$

(二) 步驟二：計算整體網路結構之複雜度

計算整體網路結構之複雜度，根據整體網路所顯示之節點數進行整體計算。其公式如公式 3-2，當總節點數為偶數時，使用上層公式進行運算，若總節點數為奇數時，則使用下層公式進行計算。n 為節點數，a 為總節點中有工

作之活動節點。

$$C_n = \begin{cases} 100 \times \left\{ \frac{\text{Log}[a/(n-1)]}{\text{Log}[(n^2-1)/4(n-1)]} \right\} \% & \text{若 } n \text{ 是偶數} \\ 100 \times \left\{ \frac{\text{Log}[a/(n-1)]}{\text{Log}[n^2/4(n-1)]} \right\} \% & \text{若 } n \text{ 是奇數} \end{cases} \quad (\text{公式 3-2})$$

(三) 步驟三：計算軟體專案總複雜度

當搜集到單一工作節點的複雜度與整體網路結構的複雜度後，方可進行兩者複雜度的總計算。其公式如公式 3-3，j 是整體網路節點參數，總共有 P 個。

$$\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^{K=6} (C_{ij} \times W_{ij}) \quad (\text{公式 3-3})$$

(四) 步驟四：複雜度因子之敏感度分析

敏感度分析 (Sensitivity analysis) 是指研究線性規劃的係數，其變化的趨勢如何改變會影響到最適合的解，而本研究根據計算公式運算出的複雜度，分析之流程如下：

- (1) 確認敏感度分析之指標：本研究之敏感度分析指標為技術複雜性、組織複雜性、內容複雜性、資訊複雜性、目標複雜性及環境複雜性等六項指標。
- (2) 計算目標值：在一般的軟體專案狀態下的合理評估數值範圍，作為準則值。
- (3) 選擇分析的複雜度因子：針對第一步驟之六項複雜度指標，個別選取並進行分析作業。
- (4) 計算複雜度因子變動時相對於分析指標的變化：首先，在固定其他複雜度因子的條件下，變動所選擇分析之複雜度指標條件，以求所選擇之複雜度指標相對於準則值的變化。
- (5) 分析複雜度因素變化之狀態：以評估對於軟體專案複雜度所造成的影響。

根據圖 1 的軟體專案複雜度度量模式應用流程之四步驟，本研究以中度複雜度之軟體專案為例，如圖 2 所示：

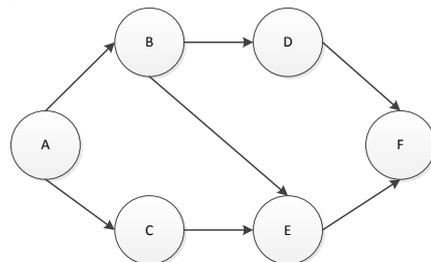


圖 2 軟體專案中度複雜度實作案例

此一案例屬於中度複雜度專案，經由 PERT 圖展開後，顯示出 A 到 F 之六個工作節點。依據步驟一的公式 3-1，以節點 A 為例，

運用 HE et al. (2012)列出的 ANP 六種複雜度因子之權重值進行計算，包括技術、組織、目標、環境、文化及資訊複雜度因子，得到 A 的單一節點複雜度分數為 53.952，其餘節點以此類推。步驟二，圖 2 的 PERT 圖節點為偶數，因此帶入公式 3-2 的上層公式，得到整體網路結構複雜度的分數為 32.58。步驟三，結合步驟一與步驟二，計算出軟體專案之複雜度為 67.489%。最後，第四步驟則以圖 2 之軟體專案為例，假設選擇技術複雜度作為敏感度分析的因子，當技術複雜度為 45.88%時，軟體專案總複雜度為 67.489%，當技術複雜度下降至 30.88%時，軟體專案的總複雜度則能降低到 59.628%。

4. 系統實作

本研究係以模擬法作為實證方法，共有 450 組模擬專案，實驗分為三群組，分別為低度複雜度群組、中度複雜度群組及高度複雜度群組。

4.1 系統架構

針對本研究系統架構之各元件說明如圖 3 所示：

- (一) 使用者：本系統之主要使用者為專案管理者及系統管理者，可透過本系統之程式介面進行軟體專案複雜度量。
- (二) 軟體專案複雜度量系統：使用者根據程式之介面功能進行系統的操作。
- (三) 專案複雜度資料庫：主要儲存需要進行複雜度分析的相關軟體專案。
- (四) 專案度量資料庫：主要儲存複雜度量完之結果資料。
- (五) 工作暫存區：當使用者匯入軟體專案資料進入系統時，暫存區會將欲分析之資料存入工作暫存區，以備後續度量的工作。

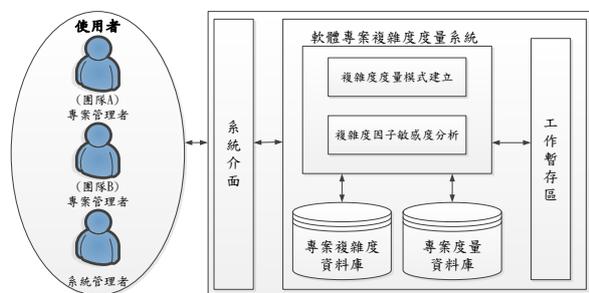


圖 3 軟體專案複雜度量系統架構

4.2 實作範例

本研究根據以上之系統架構，建立一套軟體專案複雜度量系統，並以模擬法進行實作，

將低度複雜度專案、中度複雜度專案與高度複雜度專案交由系統在三種複雜度群組中，分別模擬 150 組專案，縱軸為整體專案複雜度，橫軸為模擬的專案代號，最後在模擬結果中顯示度量結果。

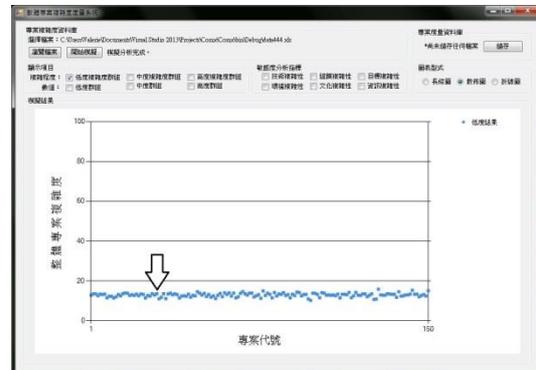


圖 4(a)軟體專案低度複雜度結果

圖 4(a)為低度複雜度量結果，複雜度的範圍幅度較小，複雜度穩定在 11.06%至 15.81%之間。例如圖 4(a)箭頭所示之第 30 個專案的整體複雜度為 13.69%。

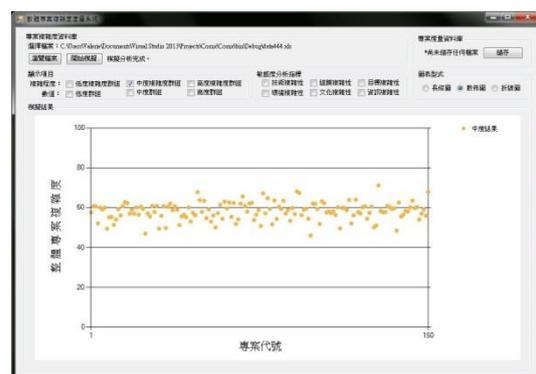


圖 4(b)軟體專案中度複雜度結果

圖 4(b)為中度複雜度量結果，複雜度的範圍受複雜度因子變數的影響，幅度差異略顯較大，複雜度在 45.99%至 71.16%之間。

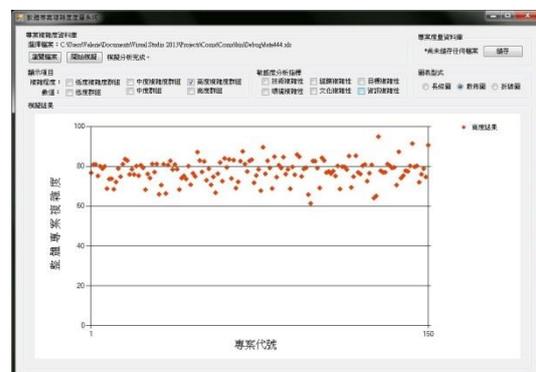


圖 4(c)軟體專案高度複雜度量結果

圖 4(c)為高度複雜度量結果，複雜度範圍明顯受複雜度因子變數的影響，幅度差異甚

大，複雜度在 61.33% 至 94.88% 之間。

以上三種複雜度的變動大小隨著不同複雜度逐漸增加。

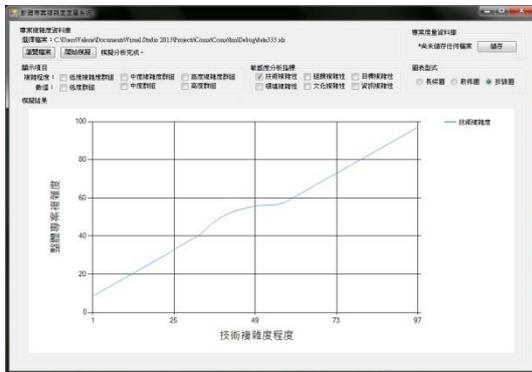


圖 5 技術複雜度因子之敏感度分析結果

根據本研究之專案複雜度因子有技術複雜度、組織複雜度、目標複雜度、環境複雜度、文化複雜度及資訊複雜度，圖 5 為從複雜度六項因子中，選擇以降低「技術複雜度」為例，橫軸代表技術複雜度程度，縱軸代表整體專案複雜度。以中度複雜度專案為例，技術複雜度程度為 97% 的專案，整體專案複雜度為 94.88%，若能將此專案的技術複雜程度降為 56%，整體專案複雜度則可降至 64%，便能達到降低整體專案複雜度的效益。因此，專案管理者可依照欲評估項目，選擇複雜度因子作為敏感度分析指標進行分析。

5. 分析與討論

本研究建立軟體專案複雜度量模式及軟體專案複雜度量系統的實作，協助專案管理者在軟體專案的分析與控制工作，有以下幾項效益：(1)能幫助專案管理者在專案管理上能夠蒐集到各項重要的複雜度評估資訊，(2)採用客觀且量化的複雜度指標，提供專案管理者更為精準的了解專案狀況。

茲將本研究實證分析結果與其他方法進行不同複雜度構面的比較，✓表示該複雜度的結果可呈現且顯著，如表 4 所示：

表 4 計算之複雜度構面之比較表

複雜度構面	節點複雜度	結構複雜度	總複雜度
方法			
(1)方法一 專案管理知識體系		✓	
(2)方法二 分析網路程序法	✓		
(3)方法三 本研究方法	✓	✓	✓

(資料來源：本研究整理)

本研究進一步將本研究方法與專案管理知識體系及分析網路結構，加以分析比較，如表 5 所示：

表 5 本研究與其他複雜度計算方法之比較

方法	(1)方法一 專案管理知識體系	(2)方法二 分析網路程序法	(3)方法三 本研究方法
構面			
定義	以管理觀點來度量專案複雜度，著重在因子影響的層面	專案的複雜度，著重在專家訪談完成時的評估分數	專案的複雜度，在過程中各階段需各別進行度量
差異性	僅能做結構的複雜度評估	僅能評估單一節點的複雜度	可評估單一節點及整體結構的複雜度
複雜度因子(問題點)	不明顯	明顯	明顯且複雜度的問題點清楚掌握
計算方法	分析因子，部分無法進行計算	建構複雜度準則，經一致性設定後運用超級矩陣運算結果	透過權重值先計算單一節點，爾後結合 PERT 網路進行整體結構計算
使用效率	不佳(無法做整體的計算)	中(每次進行評估之專家可能不同)	高
精確度	低	高(節點性)	高(整體性)
彈性	低	低	高

(資料來源：本研究整理)

綜合以上所述，本研究發展之軟體專案複雜度量模式，其優點如下：(1)對於整體專案的節點與結構複雜度定義明確而具體，(2)各階段中所計算之複雜度皆能明確呈現，(3)透過本研究提出之模式的度量，提升專案管理者獲得專案複雜度資訊的程度。

6. 結論與建議

總而言之，本研究主要發展一套軟體專案複雜度量模式並建立度量系統以協助軟體專案管理人員之度量作業的進行，以及評估專案複雜度的輔助性決策工具。本研究主要貢獻如下：「在學術方面，建立一套軟體專案複雜度量模式，提供學術研究一個新的整體專案複雜度計算方法。在實務方面，本研究根據上述之度量模式，開發一套軟體專案複雜度量系統，可予以專案管理者應用在軟體專案的開發工作上，據以評估專案複雜度的問題，提供決策一個輔助性的分析工具」。

由於本研究採用模擬法進行實證，為控制研究上模擬的範圍並進行驗證，其中專案流程圖亦限制為低度、中度與高度複雜度專案之三種類型。在未來研究方向上，建議朝向下列三個研究主題進行：(1)透過業界實務上資料的累積，調整軟體專案各項複雜度因子及其權重；(2)探討軟體專案的複雜度因子對於專案的時

程、成本、品質與整體績效上的影響；(3)結合智慧型代理人來加強軟體專案複雜度度量系統之功能。

參考文獻

中文部分

[1] 林信惠、黃明祥、王文良，**軟體專案管理 (再版)**，智勝文化事業有限公司，2005。

英文部分

- [1] Baccarini, D., "The concept of project complexity-a review," *International Journal of Project Management*, Vol. 14, pp. 201-204, 1996.
- [2] Badiru, A. B. and Pulat, P. S., *An experimental investigation of resource allocation in multiactivity projects*, Prentice-Hall, 1995.
- [3] Bosch-Rekvelde, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H. and Verbraeck, A., "Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework," *International Journal of Project Management*, Vol. 29, pp. 728-739, 2011.
- [4] Cleland, D. I., "The evolution of project management," *IEEE*, Vol. 21, November 2004.
- [5] Davies, A. and Mackenzie, I., "Project complexity and systems integration: Constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games," *International Journal of Project Management*, 2013.
- [6] Davies, E. M., "Comprehensive Project Management- Integrating Optimization Models, Management Principles, and Computers," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 24, pp. 587-591, 1973.
- [7] Ershi, Q. and Lin, J., "Complexity and integrated management of Large engineering projects," *Science and Technology Management Research*, pp. 191-193, 2008.
- [8] Fitsilis, P., "Measuring the Complexity of Software Projects," *IEEE*, pp. 644-648, 2009.
- [9] Fitzsimmons, J. and Fitzsimmons, M., *Service Management-Operations, Strategy, and Information Technology*, 7th ed., Irwin/McGraw Hill, 2011.
- [10] Girmscheid, G. and Brockmann, C., "The inherent complexity of large scale engineering projects," *Project Perspectives*, pp. 22-26, 2008.
- [11] Haider, W. and Haider, A., "Managing Complexity in Technology Intensive Projects," *IEEE*, pp. 2419-2426, 2012.
- [12] Hass, K., *Introducing the New Project Complexity Model. Part III*, accessed online on October 28 2010.
- [13] HE, Q.H., L. L., WANG J., LI Y.K., ZHAO L., "Using Analytic Network Process to analyze influencing factors of project complexity," *IEEE*, pp. 1781-1786, 2012.
- [14] Huang, S. J. and Han, W. M., "Exploring the relationship between software project duration and risk exposure-A cluster analysis," *Information & Management*, Vol. 54, pp. 175-182, 2008.
- [15] IEEE-SA, S. B. *IEEE Standard for Software Project Management Plans*, IEEE Std 1058-1998, pp. 1-28, 1998.
- [16] Jung, U. and Seo, D. W., "An ANP approach for R&D project evaluation based on interdependencies between research

- objectives and evaluation criteria," *Decision Support Systems*, Vol. 49, pp. 335-342, 2010.
- [17] Kaimann, R. A., "Coefficient of Network Complexity," *Management Science*, Vol. 21, pp. 172-177, 1974.
- [18] Nassar, K. M. , Hegab, M. Y., P. E., M.ASCE, "Developing a Complexity Measure for Project Schedules," *Journal of construction engineering and management*, 2006.
- [19] Li, H., Yang, N.D. and Guo, X., "Research on the structure of the complexity of complex project system," *Soft Science*, Vol. 23, pp. 75-79, 2009.
- [20] Lin, J., Er-shi, Q. and Bo, D., "Study of the Characteristics of Large-Scale Construction Projects with the Viewpoint of Complexity," *IEEE*, pp. 1-4, 2008.
- [21] Maylor, H., *Project management*, 4th ed., Harlow, UK: FT Prentice Hall, 2010.
- [22] Maylor, H., Vidgen, R. and Carver, S., "Managerial complexity in project-based operations: a grounded model and its implications for practice," *Project Management Journal*, pp. 15-26, 2008.
- [23] McCabe, T. J., "A complexity measure," *IEEE*, Vol. SE2, pp. 308-320, 1976.
- [24] Tatikonda M. V., Rosenthal, S. R., "Technology Novelty, Project Complexity, and Product Development Project Execution Success: A Deeper Look at Task Uncertainty in Product Innovation," *IEEE*, Vol. 47, pp. 74-87, 2000.
- [25] Pádua, W., "Measuring complexity, effectiveness and efficiency in software course projects," *IEEE*, Vol. 1, pp. 545-554, 2010.
- [26] Pich, M. T., Loch, C. H. and Meyer, A. D., "Uncertainty, Ambiguity, and Complexity in Project Management," *Management Science*, Vol. 48, pp. 1008-1023, 2002.
- [27] Remington, K. and Pollack, J., *Tools for complex projects*, Aldershot, UK: Gower Publishing company, 2007.
- [28] Saaty, T. L., "How to make a decision- The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 9-26, 1990.
- [29] Saaty, T. L., "The Analytic Network Process," *Iranian Journal of Operations*, Vol. 1, pp. 1-27, 2008.
- [30] Standish Group (2013). <http://www.standishgroup.com/>
- [31] Shannon, C. E., "A Mathematical Theory of Communication," *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656, 1948.
- [32] Teller, J., Unger, B. N., Kock, A. and Gemünden, H. G., "Formalization of project portfolio management: The moderating role of project portfolio complexity," *International Journal of Project Management*, Vol. 30, pp. 596-607, 2012.
- [33] Temperley, H. N. V., *Graph theory and applications*, Ellis Horwood Ltd, England., 1981.
- [34] Vidal, L.A. and Marle, F., "**Understanding project complexity: implications on project management**," *Kybernetes*, pp. 1094-1110, 2008.
- [35] Vidal, L.A., Marle, F. and Bocquet, J.C., "Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process," *International*

Journal of Project Management, Vol. 29,
pp. 718-727, 2011.

[36] Williams, T., "Modelling complex projects,"
John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

[37] Williams, T. M., "The need for new
paradigms for complex projects,"
*International Journal of Project
Management*, Vol. 17, pp. 269-273, 1999.

[38] Xia, B. and Chan, A. P. C., "Measuring
complexity for building projects: a Delphi
study," *Engineering, Construction and
Architectural Management*, Vol. 19, pp.
7-24, 2012.