

使用派翠網路改良解決發明問題演算法 之敘述問題情境

沈榮麟

國立臺北大學資訊工程所
e-mail: rlshen@mail.ntpu.edu.tw

李家宏

國立臺北大學電機工程所 電腦工程組
e-mail: lks_ce_ch@hotmail.com

摘要

萃智理論已廣泛地使用於工商領域中，其中問題困難程度取決於該問題的描述與標準化程度，不斷地描述與標準化能使問題最小化，使得解決問題的成功機率大大增加。絕大多數問題都能用創新原理與標準解法就能解決，但是非標準複雜性的發明問題，往往需要解決發明問題演算法來分析和求解，在此演算法中幾乎包含 TRIZ 多數的系統化工具。本研究對問題描述此需求利用 Petri Net 性質中的行為特質(Behavioral Properties)，來建構問題模型與情境分析，在問題描述時，提供思考方向或錯誤訊息給開發者參考。為了使得 TRIZ 各問題模型與情境分析能有更明確的效果，將結合發明問題解決演算法與派翠網路，讓初次接觸 TRIZ 的學習者或進階研究者能快速地找出最佳解。

關鍵詞：派翠網路(Petri Net)、萃智理論(TRIZ)、解決發明問題演算法(ARIZ)。

1. 前言

現今各企業已有數百萬個使用萃智理論開發的成功案例，應用於公司和產品方面，也有相當好的表現，如英業達、台灣電力公司、中華汽車、M&M 巧克力、三星等大廠也紛紛引進 TRIZ 的創新發明。各公司若要協助員工學習與運用 TRIZ，須要具實務經驗的優秀師資與應用範例，這些在人資費用上開銷也不少，因涉及專利保護所以公開範例具有一定的困難度。

TRIZ 是 "Theory of Inventive Problem Solving" 的縮寫，乃是由前蘇聯科學家 Genrich Altshuller 於 1950 年所發展的，Altshuller 表示如果未來的開發者能夠擁有早期解決方案的知識，那麼在創新發明的的工作將更為容易。TRIZ 分析工具中一個主要工具「發明問題解

決演算法」(Algorithm for Inventive-Problem Solving; ARIZ)，其目的為解決問題的物理矛盾，將情境複雜的問題做簡化與消除，此演算法使用許多 TRIZ 工具，以及強制性檢驗工具的有效性(Validity)和實用性(Applicability)，此特性對於強調問題定義的 TRIZ 相當重要。ARIZ 程序第一步便是建立開發系統的最小問題，與 TRIZ 所強調的重點不謀而合，若能找出實際最小問題，便能利用 TRIZ 工具解決系統問題，由此能瞭解初步的描述問題對 TRIZ 相當重要。

ARIZ 成功的關鍵在於理解問題本質前，要不斷的細化問題，至明確的表示問題所包含的物理矛盾，問題標準化與問題描述為評估效率的兩個主要因素，標準化可由 TRIZ 分析工具執行；描述就較為抽象，需要不斷地重新詮釋問題與定義。在演算法中第一部份“分析原有問題”，這部份關係到解決問題的成功率，如果能設計者在問題情境描述時，清楚說明問題與定義矛盾點，再利用 TRIZ 工具與細化問題，將使得解決問題矛盾的效率有明顯改善。

派翠網路(Petri Net)於 1962 年由 Carl A. Petri 博士提出[3]，派翠網路同時擁有圖形化及數學化的正規模擬工具，跟其他圖形建模工具不同的地方，在於它具備了平行與分散式系統的動態行為表現之外，也提供一套數學理論支援系統描述方法和系統行為分析技術。應用在各領域已有相當豐富的成果，像是在知識庫系統、專家系統、學習評估[10, 11, 16]、彈性製造系統(FMS)[1, 16]、電腦整合製造(CIM)、資料庫設計、資料傳輸及電子電路設計等等，使用於系統的設計、建構與分析之中。

本文將利用派翠網路行為特質對 ARIZ 描述問題上做引導，讓系統設計者在描述與定義問題時，引導法能扮演一位系統評估者，評估者由設計者的問題描述和系統需求的相關資訊，以問答與提示的方式跟設計者做溝通。在

教學方面，能使學習者在重要的分析工具與知識庫工具做入門與進階的使用，並增加創新問題的解決能力，到某種程度時可由公司或夥伴公司提供更深入的教學及培養資深的 TRIZ 人才。

文章的內容分為五小節，第二節將兩個重要的理論做概念性介紹及所使用部份，較細節的說明可參閱[6, 9]，第三節集中介紹派翠網路的引導方法及 ARIZ 問題描述方式，第四節將以案例來說明及驗證數據，最後以驗證成果及未來性做討論。

2. 派翠網路與萃智理論的基礎概念

本章節將介紹及說明 Petri Net 與 ARIZ 主要的特性以及相關定義。基本派翠網路模型定義、關連矩陣及標記、還有行動特質的定義。萃智理論主要說明 ARIZ 成流程及其問題情境敘述。詳細定義及說明請參閱[4, 6, 9, 10, 17]。

2.1 派翠網路

整體來看 Petri Net 是由多個元素所組合而成的有向圖，主要由狀態(Places)和動作(Transitions)兩種節點以及用來連接動作與狀態的有向弧(Directed Arc)所組成。以圖形呈現來看，類似流程圖(Flowchart)，具有平行(Parallel)與同步(Concurrent)的模擬能力，至今已被廣泛用在不同領域作為系統之模組化建構、分析與模擬。

以下將介紹派翠網路的格式定義：

Definition2.1-1. 派翠網路基本由五個要素組成， $PN=(P, T, F, W, M_0)$

- (1). $P=\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 為狀態(Place)的有限集合。
- (2). $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 為動作(Transition)的有限集合。
- (3). $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 為弧線(Arc)的集合。
- (4). $W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ 為權重方程式。
- (5). $M_0=\{M(p_1), M(p_2), \dots, M(p_m)\} : P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ 為初始標記(Initial Marking)其中 $M(p_i)$ 表示在狀態 p_i 內的代幣(Token)數目。
- (6). $P \cap T = \emptyset$ 且 $P \cup T \neq \emptyset$ 。

派翠網路架構 $N=(P, T, F, W)$ 無任何具體的初始標記是由 N 表示；派翠網路初始標記表示為 (N, M_0) 。

接著，定義派翠網路的關聯矩陣(Incidence Matrix)及標記如下：

Definition2.1-2. 關聯矩陣 $A=[a_{ij}]_{n \times m}$ ，其中 $n=|T|$ 、 $m=|P|$ 、 $a_{ij} \in \mathbb{Z}$ 。

- (1). $a_{ij}=a_{ij}^+ - a_{ij}^- = w(t_i, p_j) - w(p_i, t_j)$ ，其中 $w(t_i, p_j)$ 表示從動作 t_i 到狀態 p_j 的弧線之權重值， $w(p_i, t_j)$ 表示從狀態 p_i 到動作 t_j 的弧線之權重值。
- (2). 當 $\forall p \in *t : M(p) \geq w(p, t)$ 標記 M 被動作 t 觸發(Firing)以 $M[t >$ 表示，觸發後標記 M 重新標示為 M' 以 $M[t > M'$ 表示。從 M 可達的標記也可表示為 $[M >$ 。
- (3). 標記之間的動作關係，代表著一種動態行為，稱為觸發序列(firing sequence)： σ 假設有一個 $1 \times n$ (n 是動作的個數) 向量 u_k ，第 h 個元素為 1，其他元素皆為 0，代表觸發序列裡第 k 個被觸發的動作為 t_h ，則狀態方程式(state equation)：

$$M_d = M_0 + \sum_{k=1}^d u_k + A \cdot \sigma$$

派翠網路行為特質(Behavior Properties)的定義，如下所示：

Definition2.1-3. M_d 表示為能從 M_0 到達的標記， $\forall M \in [M_0 > : M_d \in [M >$

- (1). 可達性(Reachability)： $M \in R(M_0) ? M = A^T x + M_0$
- (2). 有限性(Boundedness)： $M(p) < \infty, \forall p \in P, \forall M \in R(M_0)$ (or Safeness : 1-boundedness)
- (3). 活性(Liveness)：不同等級的活性, $L_0, 1, 2, 3, 4$
- (4). 可逆性(Reversibility and Home State)： $\forall M \in R(M_0), M_0 \in R(M)$
- (5). 持續性(Persistence)：任何能動作 t 可停止自己的觸發動作。
- (6). 同步距離(Synchronic Distance)：在動作 t_1 和 t_2 之間為 $d_{12} = \max \{ \sigma(t_1) - \sigma(t_2) \}$ 。

將派翠網路模型化之後，還須能用分析方法來檢驗，其流程是否可做到其屬性。以下為一些方法可利用來檢驗，如可達樹(Reachability Tree)可檢驗限制性、可達性、活性[8]，簡化技術可檢驗限制性、可達性及活性，狀態方程式可檢驗可達性[9]，關聯矩陣可檢驗活性[15]等。

2.2 萃智理論 - 發明問題解決演算(ARIZ)

TRIZ 理論的技術矛盾指出必須消除的障礙，但是矛盾時常隱藏在問題的敘述裡。因此有必要找出一種方法來消除矛盾，並非每次都

能一步跨越問題敘述及其解答之間的距離，必須運用合理的策略，才得以一步一步逼近問題的解決方案。而「發明問題解決演算法」，就是一套優良的策略實施的方式。ARIZ 不同的設計者利用 ARIZ 會顯示出對於相同問題有不同解答，它不會忽視設計者的個人特質，也就是說 ARIZ 有助於以最大限度來發揮設計者的本質與經驗長處。圖 1 為 TRIZ 理論主要的四大元素，ARIZ 同時也包含這些元素，矛盾(Contradictions)、理想性(Ideality)、功能(Functionality)和資源(Resources)。

- 矛盾：TRIZ 理論最重要的哲學是消除矛盾。矛盾矩陣是普遍使用的 TRIZ 工具，可以解決任何可能發生的矛盾。
- 理想：確定一個系統的發展趨向日益增加的“理想”。理想的最終結果包含了所有的福利制度和任何的危害。而不是從目前的情況來考慮，TRIZ 鼓勵從理想結果做反向思考。
- 功能：系統具有一個主要功能和選擇數個其他有效的功能。功能分析有助於確定矛盾對於，有效地、不足地和危害的關係，和周圍的系統。任何系統元件沒有作出實際貢獻的功能最終是有害的。
- 資源：任何在系統中不使用資源的最大潛力。TRIZ 的建議利用這些資源，提高設計的系統。在系統資源，也可以利用類似環保有效利用的概念。

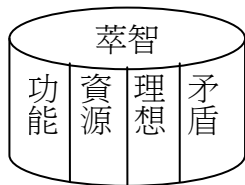


圖 1 支撐萃智的四大元素

Altshuller 在彙整專利過程中，列出三條主要的發現[14]：

- 在工業和科學領域遇到之問題和解答往往是重複地。
- 在工業和科學中經由技術發展得到之專利，也往往是由重複的方法解決。
- 造成創新的科學影響，往往不是在這個領域所發展出來。

由上列三點可以歸納出：發明是具有一般普遍性之原則，而創造性發明的某些準則，往往是相同或相似的。這正是 TRIZ 研究中最重

要的假設；當然，如果可以整理歸納出這些原則，工程師或發明者學習這些方法後，將使得創造發明的的工作更有條理、方法及可預期的來完成。

ARIZ 目標是為了解決問題的物理矛盾，它有幾項特點：(1)指向性思考、(2)堅守最終理想解(Ideal Final Result; IFR)、(3)輕易克服心理障礙的能力、(4)使用原理排除技術矛盾的優良技巧。主要針對問題情境複雜、矛盾及其相關部件不明確的技術系統，它是一個對初始問題進行一系列變形及再定義等非計算性的邏輯過程，實現對問題的逐步深入分析和轉化，最終解決問題。該演算法尤其強調問題矛盾與理想解的標準化，一方面技術系統向理想解的方向進化，另一方面若一個技術問題存在矛盾需要克服，該問題就變成一個創新問題。ARIZ 的本質是提供開發者一個在較高層級的經驗。換句話說，ARIZ 必須讓思考程序有技巧，而且必須提供可控制的「直覺」來確認需求及工作。

本文以 ARIZ-85C[6]版本為研究流程如圖 2，使用多個工具來解決問題，包括物質-場(Substance-Field)分析、找出矛盾(Contradiction)、76 種標準解答(Standard Solutions)、40 個創新原則(Principles)、技術參數(Technological Effects)、知識資料庫(Knowledge Base)、專利檢索(Patent Search)等，這些工具對於 TRIZ 也相當普遍及重要。

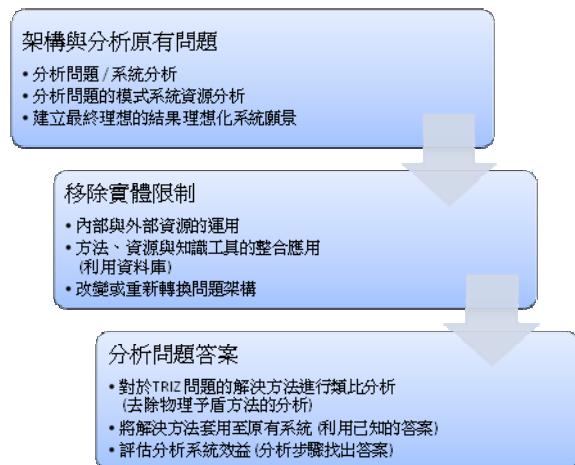


圖 2 ARIZ-85C 流程

3. 引導式發明問題解決演算法

該如何在 ARIZ 初始階段，清楚描述問題情境，在這使用架構式問卷方式來做引導提

示，類似創新情境調查問卷 (Innovation Situation Questionnaire) 的方式表現，設計者先對已知的系統做說明，在由問卷內容做資料的補充。本文將改良 ARIZ 中的架構與分析階段，整合文件參數與 Petri Net 理論之引導式 ARIZ，從問卷中取出可能的“矛盾點”再由 Petri Net 分析模型建構做出合適的回應與參考資訊給開發者。

在此提出圖 3 的設計架構其主要為四階段，首先由使用者或設計者定義與描述創新問題。第二階段分析使用者所提供的資料與數據，並儲存在專案資料庫，目前採用單一工特性對應理論[19]，評估及分析解決問題。第三階段為註解文件的編寫，將文件加上合適建議及方法說明。最後在接合 ARIZ 的步驟執行，完成解決創新問題。

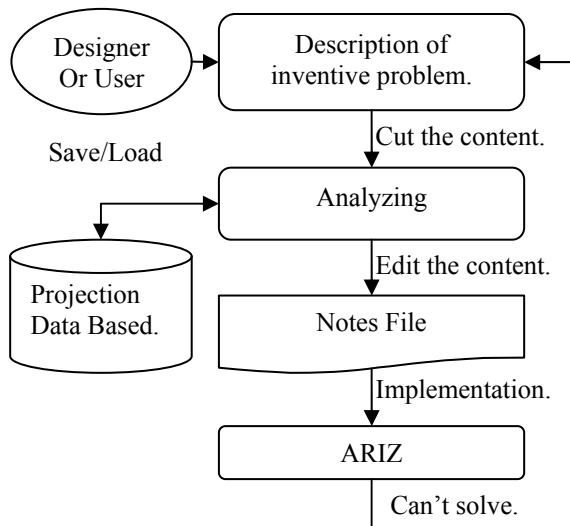


圖 3 敘述問題設計與架構

圖 4 為問卷設計格式的五項考量方向，將

所有能執行功能的，人(People)、方法(Methods)、材料(Materials)、環境(Environment)和測量(Measurements) 相關種類做分類，並觀察時間演進分為過去、現在及未來。

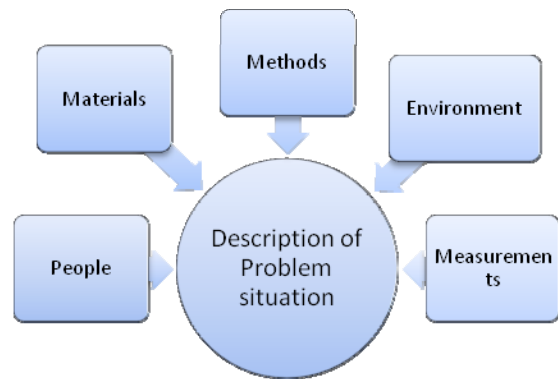


圖 4 問題情境的五項考量

接下來，介紹敘述問題情境的細節，為求使用者在描述問題能參考方向。在表 1 中，只提出部份說明，也可以定義一些不同領域的細節。

圖 5 問題情境描述格式將填寫者資料做記錄後，再由 Petri Net 模型與分析後提出建議與其引導。在系統說明中包含過去相關案例、目前系統狀況和系統未來目標三個時間點來說明系統設計的狀態。接著是系統使用者和關係者，只要與系統有關係的人，或是間接相關人士都算這部份，並且附加身份描述。使用技術方法，將系統已使用的技術、演算法及策略，條例的列出及敘述執行方法，並說明技術方法是否成功。最後為系統測試狀況進行、測試、實驗及統計的狀況。

圖 5 問題情境描述格式

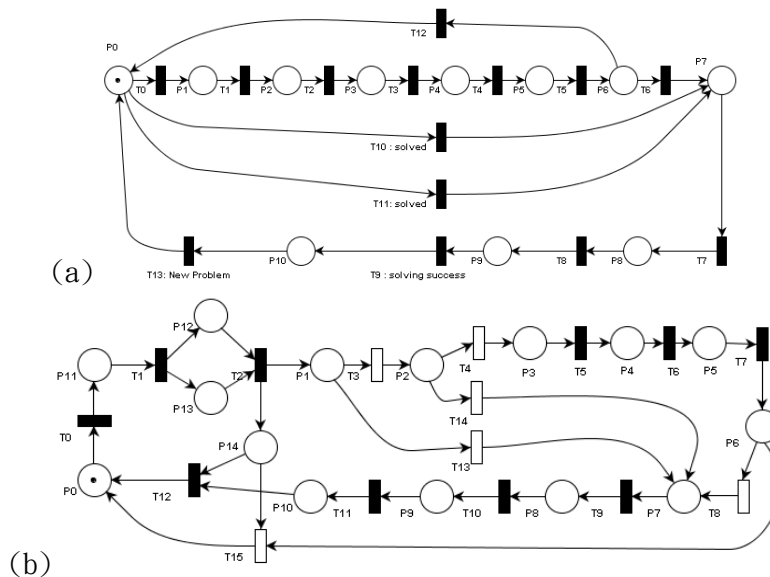


圖 6 ARIZ 之 Petri Net 模型

表 1 敘述問題情境(Description of Problem situation.)

Classification				
Environment	Methods	Materials	Measurements	People
Orderly workplace.	No or poor procedures.	Defective raw material.	Incorrect tool selection.	Training or education lacking.
Job design or layout of work.	Practices are not the same as written procedures.	Wrong type for job.	Poor maintenance or design.	Poor recognition of hazard.
Surfaces poorly maintained.	Poor communication.	Lack of raw material.	Defective equipment or tool.	Poor employee involvement.
Physical demands of the task.				
Forces of nature.				

表 2 動作與狀態的意義

Place	Meaning
P0:	A description of the problem situation.
P1:	Identify and Formulate the problem.
P2:	Make S-Field Models of the system parts that have problem.
P3:	Formulate an Ideal final result (IFR) and define ideality.
P4:	Make a list of the available resources (of the system, subsystems and the super-system).
P5:	Look into database of examples and find an analogous solution.
P6:	Resolve Technical or physical contradiction
P7:	by using inventive or separation principles. Starting from the S-Field model, Generate several solution concepts using.
P8:	Implement solutions by using only the free available resources of the system.
P9:	Analyze the modified system to verify that no new drawbacks appear.
P10:	The completion of the Patent.
P11:	Min-Problem(MP)
P12:	Improving Feature(IF)
P13:	Worsening Feature(WF)
P14:	Bootstrap(BS)

Transition	Meaning
T0:	Split system problem.
T1:	Trigger Improving Feature and Worsening Feature.
T2:	Analytical Content and document.
T3:	Processing documents.
T4:	Completion of S-Field Models.
T5:	Completion of define ideality.
T6:	To create a form.
T7:	Be found
T8:	Resolve Technical or physical contradiction.
T9:	To create solution concepts.
T10:	Solved resource issue.
T11:	Final Patent.
T12:	Renew Problem
T13:	Solved Problem(P1)
T14:	Solved Problem(P2)
T15:	Renew Problem

問卷完成後，會對文字做關鍵字搜尋及問卷數據統計，將數據套入 Petri Net 模型(見圖 6-b)之後，而圖 6-a 為 ARIZ-85C 的模型，之後由可達性圖形(Reachability Graph)的分析結果，對設計者的系統問題做建議與提示來引導。提示內容的方式類似游標註解(見圖 8)，已搜尋的關鍵字以紅色字體表示，將滑鼠移到字體便會出現黃色的註解方塊做建議及提示，也可用其他文件表現註解內容。各狀態與動作的意義在表 2。

4. 評估與討論

圖 7 為 ARIZ 網路模型之狀態空間分析結果，行為特質的有限性(參閱定義 2.1-3)為真，表示此網路模型必定能在有限的程序中，並不會出現無窮盡的處理步驟；安全性為真，表示一定有一個解決方法可用，使開發者有可參考的解法；最後為死結(Deadlock)測試，結果一定會有個唯一的死結(見圖 7 - a)。當解決問題的矛盾時，也表示達成目的便會產生程序結束 (t_9)；將修改程序最後回到問題的初始狀態，即可解決此死結分析，其結果為圖 7 - b。

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	true

Shortest path to deadlock: T0 T1 T2 T13 T9 T10

(a)

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

(b)

圖 7 行為特質分析

圖 8-a 為 ARIZ 無循環的可達性圖形，一般的生產線系統流程都會有的圖形，雖然在 Petri Net 定義會發生 Deadlock 是屬於正常的分析結果，假如將 t_9 觸發到 p_0 的話就不會產生死結如圖 8-b，在這部份使用 New Problem 做觸發規則，不只是解決了死結的問題，也滿足 Petri Net 的行為特質中的可逆性，若是系統無法回到初始狀態對系統架構是一個嚴重錯誤。

圖 8-b 可得知系統必有一方法解產生，但沒有辦法報保證此建議方案的可行性，需要使用者詳細的定義及細節說明才能產生完善方法解。

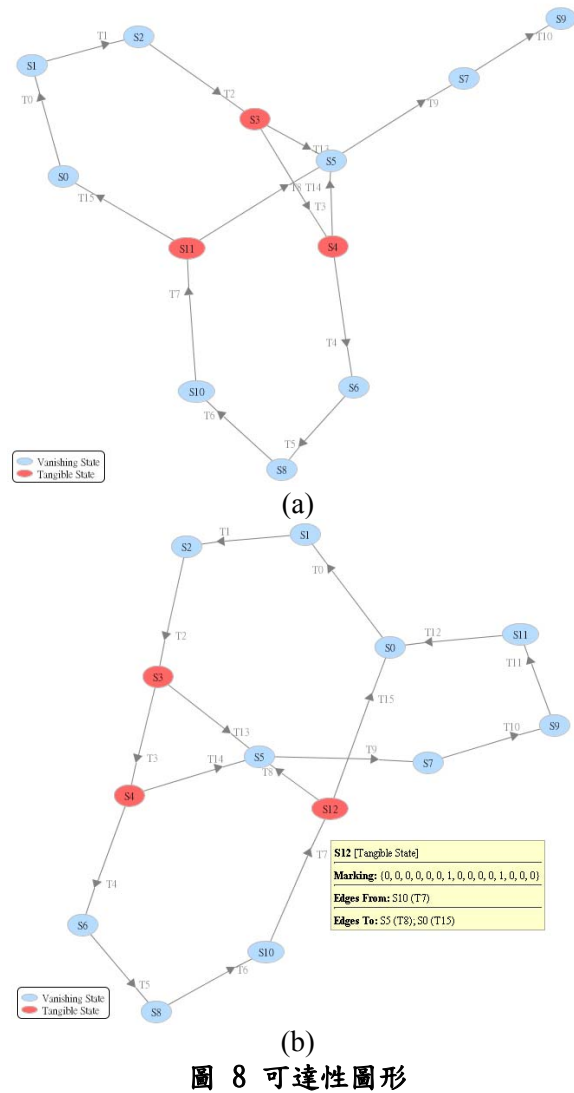


圖 8 可達性圖形

5. 結論與展望

研究方法與原本的 ARIZ 不同的地方在於突顯系統矛盾的方式，一般而言，技術矛盾是由設計者的觀念來選擇須要解決的矛盾點，而本文使用方法是使用多個問題表格跟設計者做溝通後，經由 Petri Net 的引導分析模型選擇適當的建議與思考方向，再由設計者來選擇可行的解決方法。

本研究所改良的演算法可提供給目前市面上許多 TRIZ 專案軟體做參考，透過 TRIZ 軟體教學介紹、應用以及引導，促使研發人員能夠突破創新研發瓶頸，增進研發團隊的研發效率，適切的達成公司需求。像是 Innovation Work Bench(IWB)軟體是由美國 Ideation 公司於 1993 年研發產出，透過人性化的操作介面，配合 TRIZ 理論進行專案分析，參考系統內數千項的專利案例資料庫，協助使用者進行創新發

明，進而產出有效之專利。

因此本文提供的改良式 ARIZ 未來可以當作一套學習 TRIZ 的教學軟體，教導設計者於問題描述時，該考量那些矛盾點及系統需求來做簡化。雖某些矛盾問題是無法去除的，從矛盾矩陣中能明顯的看出，少數的系統參數改良或惡化是有極限地，目前最新的工程參數為 48 項，未來應增加更有效的改良方式及 TRIZ 工具，幫助使用者解決創新問題。

參考文獻

- [1] A. Ghaffari, N. Rezg, and X. L. Xie, "Design of a live and maximally permissive Petri net controller using the theory of regions," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 19, no. 1, pp. 137–142, Feb. 2003.
- [2] Boris Zlotin and Alla Zusman; Translated by Alla Zusman, *Problems of ARIZ Enhancement*, Kishinev, Moldova, 1991.
- [3] Carl Adam Petri, "Communication with automata", Ph.D. Dissertation, University of Bonn, 1962.
- [4] G. Altshuller, *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*, Technical Innovation Center, Inc., Worcester, 2000.
- [5] Lin Chen, Shutao Wei and Linxiang Shi, "Performance Evaluation of Home Gateway System Based on GSPN", *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2009.
- [6] Janice Marconi, "ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving", *TRIZ J*, 1998/04.
- [7] M. V. Iordache, J. Moody, and P. J. Antsaklis, "Synthesis of deadlock prevention supervisors using Petri nets," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 18, no. 1, pp. 59–68, Feb. 2002.
- [8] Richard M. Karp and Raymond Miller, "Properties of a model for parallel computations: Determinacy, termination, queuing", *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 14, No. 4, pages 1390 – 1411, Nov/Dec, 1966.
- [9] T. Murata, "Petri nets: Properties, analysis, and applications," *Proc. IEEE*, vol. 77, pp. 541–580, 1989.
- [10] Victor R.L. Shen and Tony Tong-Ying Juang, "Verification of Knowledge-Based Systems Using Predicate/Transition Nets," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans*, vol. 38, no. 1, pp. 78- 87, Jan.2008.
- [11] Victor R.L. Shen, "Knowledge Representation Using High-Level Fuzzy Petri Nets," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans*, vol. 36, no. 6, pp. 2120- 2127, Nov.2006.
- [12] W. Reisig and G. Rozenberg, "Lectures on Petri Nets I: Basic Models," Springer, 1998.
- [13] W. Reisig and G. Rozenberg, "Lectures on Petri Nets II: Applications," Springer, 1998.
- [14] Webb, Alan, "TRIZ : an inventive approach to invention", *Engineering Management Journal*, June 2002.
- [15] Yujin Song and Jongkun Lee, "Deadlock Analysis of Petri Nets Using the Transitive Matrix", *Proceedings of the 41st SICE Annual Conference*, Vol. 2, pages 689-694, Aug. 2002.
- [16] Z.W. Li, M.C. Zhou and M.D. Jeng, "A Maximally Permissive Deadlock Prevention Policy for FMS Based on Petri Net Siphon Control and the Theory of Regions," accepted by *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, VOL. 5, NO. 1, pp.182-188, 2008.
- [17] 李允中、王小璠、蘇木春，*模糊理論及其應用*，全華科技，台灣，初版，頁10-1~10-4，2008。
- [18] 韓兆庭. An Efficient Method to Maintain the 0-graph when Editing a Petri Net. 國立交通大學資訊科學與工程研究所. 2008年8月，頁 129.
- [19] 劉志成、陳家豪，*TRIZ 方法改良與綠色創新設計方法之研究*. 國立成功大學機械工程系博士論文. 2003年1月，頁 147.