

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

新產品/製程導入情境下TFT-LCD 產業的製造管理

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-009-034-MY3

執行期間：2007 年 8 月 1 日至 2010 年 7 月 31 日

計畫主持人：巫木誠

共同主持人：

計畫參與人員：王君豪、陳德珊、盧威豪、張東華、陳振富

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、

列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學工業工程與工程管理學系

中 華 民 國 2009 年 05 月 29 日

摘要

薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)的生產主要有四個製程：陣列製程、彩色濾光片(CF)製程、組立製程及模組製程。其中組立製程生產 TFT 基板，而彩色濾光片製程生產的 CF 基板，將一片 TFT 基板和 CF 基板壓合後便形成 TFT-LCD 基板；為了方便生產現場的運送，TFT 基板和 CF 基板是由卡匣承載，一個卡匣約可承載 10 至 20 片基板。在重視良率的 TFT-LCD 產業，TFT-LCD 廠在生產時會面臨兩個決策問題，分別是基板配對決策及排序機派工決策，基板配對決策是將 TFT 基板和 CF 基板進行適當的配對來最大化產出良率，此決策問題在過去的研究中已有最佳演算法；在進行基板配對決策後，一組配對的 TFT/CF 基板可能分散在不同的卡匣中，因此需利用排序機對基板進行抽取重置(pick-and-replace)作業，以形成一個新卡匣。在生產環境中，有效率的排序機派工法則應能最大化下游組立製程的產能利用率，因此本研究將排序機派工決策模組化成動態規劃問題進行求解，在實例驗證後得到的結果指出，本研究所發展的動態規劃演算法顯著優於過去研究的啟發式解法。

關鍵字：動態規劃、排序機、派工、TFT-LCD

Abstract

The manufacturing of TFT-LCD involves four main processes: array, color filter (CF), cell, and assembly processes. The array process produces TFT plates while the CF process produces CF plates, where the two processes transport plates in a container is called a cassette that contains about 10-20 plates. A TFT-LCD plate is the combination of a TFT plate and a CF plate. In a low yield environment, a TFT-LCD factory faces two decisions: *plate matching* and *sorter dispatching*. The plate mapping decision, which has been well solved in literature, examines how to map TFT plates to CF plates to maximize the resulting yield. Given an optimal plate mapping, a pair of TFT/CF plates may be located in different cassettes and requires a sorter to pick-and-replace the plates to form a new cassette. Practitioners report that an effective sorter-dispatching algorithm is needed to enhance the utilization of the downstream cell process. Other than using heuristic rules, this research uniquely models and solves the sorter-dispatching problem as a dynamic program. Numerical experiments indicate that the DP model significantly outperform the prior heuristic method.

Keywords: TFT-LCD, Rework Decision, Genetic Algorithm

1.1 研究動機

薄膜電晶體顯示器(thin film transistor liquid crystal display, 簡稱 TFT-LCD)製程可分為三個部分,分別是陣列(array)製程、組立(cell)製程和模組(module)製程。陣列製程主要是製造薄膜電晶體基板(TFT plate, 簡稱 TFT 基板);組立製程是將製造完成的薄膜電晶體基板,配合上自製或外購的彩色濾光片(color filter plate, 簡稱 CF 基板)進行壓合作業,再注入液晶,形成 TFT-LCD 基板(TFT-LCD plate),再將 TFT-LCD 基板切割成固定尺寸的數個面板(panel)。而模組製程則類似一般組裝作業,是將面板與背光模組、驅動 IC、印刷電路板等其他附件進行組立。

在生產現場,基板是以卡匣(cassette)為單位進行承載,通常一個卡匣可以承載約 10-20 片基板。基板製造的良率具有隨機特性,在一卡匣內,每一片基板的良率未必相同,即使良率相同,良品面板位置的分佈也未必一致。為了提高配對良率,工廠通常會將多個 CF 和 TFT 卡匣內的基板整合配對,一配對成組的 CF 和 TFT 基板互稱為配對基板(mapping plate)。

基板配對決策之後,一 CF 卡匣內的基板所對應的 n 個 TFT 基板可能雜散在不同的 TFT 卡匣內,為了方便 Cell 製程的組立作業,工廠通常會先進行基板抽換及重置作業(pick-and-replace),亦即將一 CF 卡匣所配對的 TFT 基板從原卡匣內全部抽出,置放在一個新的 TFT 卡匣內,以便壓合組立,此新的 TFT 卡匣稱為目標卡匣(target cassette)。如圖 1.1 所示,CF 卡匣 X 內有三個基板(x_1, x_2, x_3),其配對基板(q_1, r_2, s_3)分別存放在 TFT 卡匣 Q, R, S 內。抽換作業將 TFT 基板 q_1, r_2, s_3 從其原卡匣抽出,置放在新的 TFT 卡匣 Y 內,使卡匣 X 內的所有基板,其配對基板均在卡匣 Y 內,抽換作業完成後的卡匣 Y 為目標卡匣。

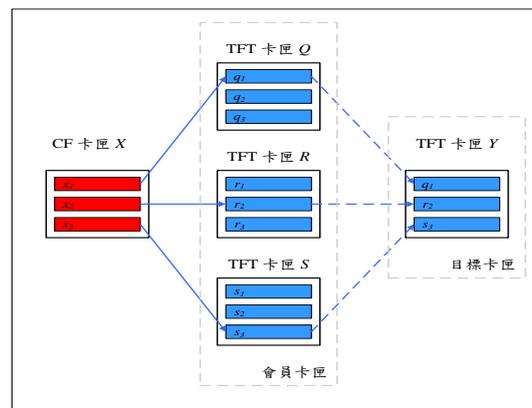


圖 1.1 抽換作業示意圖

進行抽換作業的設備稱為排序機(sorter)。如圖 1.2 所示,一個典型排序機的組成包括一個機器手臂(robot),一個輸出埠(output port),數個輸入埠(input port)。進行抽換作業時,輸出埠置放一空卡匣,機器手臂的功能是從輸入埠所置放的卡匣中抽出 TFT 基板,將其放在輸出埠的卡匣,以形成目標卡匣。

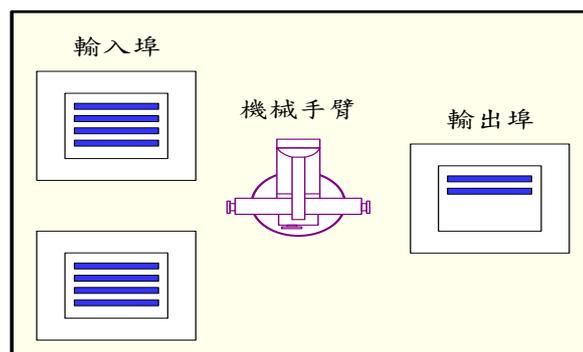


圖 1.2 排序機設備

在排序機的派工過程中，會衍生出兩個問題，分別是目標卡匣的產出順序決策(output sequence decision)及會員卡匣上下排序機的順序決策(input sequence decision)，這兩個問題為排序機派工的主要決策；決策一為目標卡匣的產出順序(output sequence, 簡稱產出順序)，如圖 1.3 中所示，產出順序可為 $C1 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow C4$ ，或 $C3 \rightarrow C4 \rightarrow C2 \rightarrow C1$ 等，共 $4!$ 種情形；決策二為會員卡匣上下排序機的順序(input sequence, 簡稱投入順序)，如圖 1.3 中所示，以 CF2 目標卡匣為例，其會員卡匣為 TFT1, TFT2, TFT3，在排序機只有一個輸入埠的情形下，投入順序為 $T1 \rightarrow T2 \rightarrow T3$ 或 $T1 \rightarrow T3 \rightarrow T2$ 等，共 $3!$ 種情形。

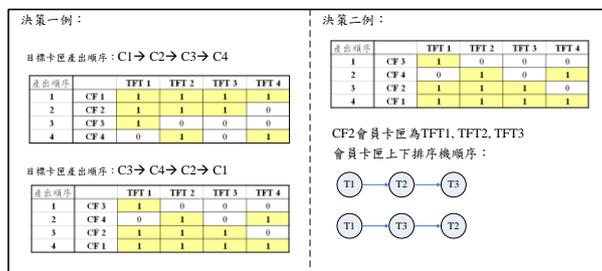


圖 1.3 排序機派工決策

組立製程為流線型生產(flow line)，排序機下游為組立壓合機台(assembly machine)，作業內容是將配對好的 TFT 基板和 CF 基板進行壓合。其生產特性為，在不缺料的情形下，每隔固定時間 T 可以產出一個壓合卡匣，反之在缺料的情形下，壓合機的產能則會閒置；因此壓合機對排序機的要求是每隔固定時間 T 需產出一目標卡匣，若目標卡匣的產出時間變異過大時，壓合機的產能可能會閒置；因此本研究著焦於發展一演算法來進行排序機派工決策，妥善規劃產出順序和投入順序，以最大化下游組立壓合機台利用率，以期能提高 TFT-LCD 廠的最終產出。

1.2 架構安排

本研究後續章節安排如下，第二章將更深入介紹 TFT-LCD 製程及 TFT-LCD 製造管理相關文獻，第三章介紹研究構想與探討研究方法—動態規劃演算模型，第四章是實例驗證，第五章則是結論。

2 過去相關文獻回顧

過去 TFT-LCD 製造管理的相關文獻，主要可分為兩大類，第一類為基板配對決策方法之研究，而第二類則著重在排序機派工決策之研究。

在基板配對決策的研究中，主要有三篇主要的文獻，分別是楊佳翰[3]、楊毅臻[2]及張東華[4]，在這部分的研究已有最佳化配對良率的演算法，因此不再進行探討。而在排序機派工決策方面，則有楊佳翰[3]、楊毅臻[2]及王君豪[5]三篇文獻，分別在以下進行簡介。為縮短卡匣上下排序機的次數，楊佳翰[3]提出以基因演算法(Genetic algorithm, GA)及模擬退火法(Simulated Annealing, SA)發展良率配對的方法。該研究假設排序機有 1 個輸出埠、 k 個輸入埠，若有 N 組卡匣的基板需要配對，該研究先將卡匣分群，一群包含有 k 個 TFT 卡匣和 k 個 CF 卡匣，然後以線性規劃法(Linear Programming, LP)求解一群內基板配對的最佳解。該研究可有效縮短卡匣上下排序機的次數，但是所規劃的基板配對良率未必是最佳解。

為確保基板配對良率，進而縮短卡匣上下排序機的次數，楊毅臻[2]應用匈牙利指派法求解良率配對，然後發展啟發式方法(Heuristic Methods)來決定目標卡匣產出順序(簡稱產出順序)及會員卡匣上下排序機的順序(簡稱投入順序)，期以最小化排序機的總作業時間。該研究雖然可確保最佳配對良率，然而，在求解良率配對的線性規劃問題時，該研究假設該線性規劃問題只有一組最佳解，並據以求解排序機派工問題。

為配合 TFT-LCD 連續型生產的特性，王君豪[5]發展基因啟發式演算法來求解排序機派工問題，其研究方法利用啟發式解法進行求解投入順序問題(input sequencing problem)，下游組立壓合機台(assembly machine)利用率為績效衡量指標，並以此作為基因演算法的適應函數，來進行規劃目標卡匣的產出順序(output sequencing problem)，此基因啟發式解法同時整合排序機作業及下游組立機台作業，以整體性的觀點增進組立製程的生產效率。

針對上述文獻回顧，本研究可以發現王君豪[5]雖以整體性的觀點來進行排序機派工決策，但在投入順序問題上仍有改善之空間，因此本研究的重點在發展一動態規劃法(Dynamic Programming, DP)以改善王君豪[5]的研究中，使用啟發式解法求解投入順序決策問題不足的部分。

3.研究架構與內容

本研究主要的決策問題是規劃會員卡匣上下排序機的順序(input sequence, 簡稱投入順序)，因此本章節重點在將投入順序決策建構成動態規劃模型(Dynamic Programming Model)，其內容包含有二，分別是將投入順序決策問題建構成完整的網路，再依動態規劃特有的系統化方法找尋最佳投入順序。

欲將投入順序決策過程描述成動態規劃網路，其過程主要可分為兩個部分，第一部分是基本的網路模型的建立，此基本架構包含了階段(stage)，狀態(state)，批次(batch)，而基本架構的建立透過 Stage Modeling, State Modeling 和 Batch Modeling 三個模組來完成；而第二部分為加強網路結構，利用 State Deployment 模組將原本不完整的狀態，重行部署成為一個或多個完整的狀態，目的是為了使網路架構更加完整，其流程如圖 3.1。

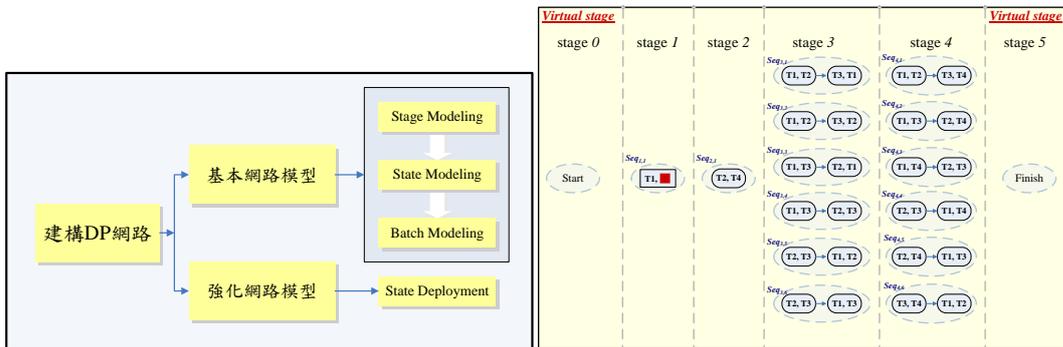


圖3.1 建構DP網路流程圖

圖 3.2 完整的基本網路架構

其中，Stage Modeling是建立基本網路架構的第一步驟，其目的是建立出網路中所有的階段。State Modeling為建構基本網路的第二步驟，其目的是建立出網路中的所有狀態(state)。Batch Modeling為建構基本網路的最後一個步驟，目的是建立出網路中的所有狀態內所包含的批次。而State Deployment將基本網路做修正，使網路架構更加完整。

本研究依序經過Stage Modeling, State Modeling, Batch Modeling 和State Deployment的過程，可得到完整的網路架構，如圖3.2，以便後續動態規劃法求解。

將投入順序決策模組化成完整的網路架構後，本研究便利用動態規劃演算法進行求解，主要的重點在計算分枝成本(branch cost)，再求解備具最小總成本的投入順序決策組合，該投入順序決策組合便為本研究問題之最佳解。

在本研究問題，分枝成本所指的是選用階段 $i-1$ 的投入順序(狀態) $seq_{i-1,k}$ ，再選用階段 i 的投入順序(狀態) $seq_{i,j}$ ，在這樣的兩個投入順序組合下所完成目標卡匣 K_j 產出，至下游壓合機台作業前所發生的閒置時間(Delay Time)，相較於典型的動態規劃問題—馬車問題，分枝成本代表的是選擇從地區 $i-1$ 的城市 K 遷徙至地區 i 的城市 J ，城市 K 和城市 J 之間的路徑長度。

若要計算本研究問題的分枝成本，則必須得知排序機產出單一目標卡匣所使用的作業時間，該作業時間包含了兩個時間成本，分別為單一投入順序在排序機上作業的時間成本

(Within Cost, 簡稱內部成本)、兩投入順序交替間所發生的時間成本(Interface Cost, 簡稱介面成本), 內部成本為狀態內的各批次上下排序機所發生的時間成本, 而介面成本則為兩投入順序間批次轉換所發生的時間成本, 如下圖3.3所示, 若選用階段*i-1*中的投入順序 $seq_{i-1,k}$, 再選用階段*i*的投入順序 $seq_{i,j}$, 目標卡匣 K_i 的作業成本為內部成本加上介面成本, 內部成本為由 $B_{(i,j),1}$ 開始, 至 $B_{(i,j),b(i)}$ 結束, 其中 $b(i)$ 個批次上下排序機所花費的時間成本, 而介面成本則為 $B_{(i-1,k),b(i-1)}$ 及 $B_{(i,j),1}$ 兩批次上下排序機所發生的時間成本。

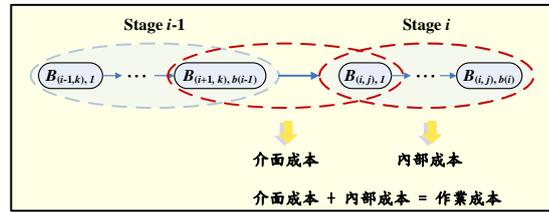


圖 3.3 作業成本示意圖

經由內部成本計算模組和介面成本計算模組的計算後, 可得到作業成本 $S_Cost(seq_{i-1,k}, seq_{i,j})$, 再經由一連串的運算, 可得到閒置時間 $Delay(seq_{i-1,k}, seq_{i,j})$, 閒置時間為本動態規劃模型中的分枝成本。

本動態規劃求解方法和典型馬車問題求解最短總路徑(shortest path)過程類似, 在本研究之動態規劃模型中, 分枝成本為下游機台等待目標卡匣 K_i 閒置時間 $Delay(seq_{i-1,k}, seq_{i,j})$, 欲求解從排序機開始運作至完成 N 個目標卡匣, 具最小累積閒置時間的投入順序組合, 相較於馬車問題, 其分枝成本為城市之間的路徑長度, 欲求解從旅途開始至結束, 具最小總路徑長度的城市組合。

本研究在在每階段中, 均透過以下決策函式進行求解:

$$TDelay_{i,j}^* = \min\{TDelay_{i-1,k}^* + Delay(seq_{i-1,k}, seq_{i,j})\}, 1 \leq j \leq s(i)$$

從起始階段 1 至終止階段 N , 經由上述的決策函式進行運算, 最終可得到 $TDelay_{i,j}^*, i = N$, 此時即可得到下游組立機台利用率為

$$Utilization = 1 - \frac{TDelay_{N,j}^*}{DStream_Cost_{N,j}}。$$

4. 實例驗證說明

本實例驗證採用過去研究基板配對決策所得到的結果, TFT及CF卡匣總數以 N 表示, 每個卡匣的基板個數是 n , 每個基板的面板個數以 $panel$ 表示。CF基板的平均良率是90%, TFT基板的平均良率是85%, 兩者都是二項式分配(Binomial Distribution)。

排序機包含一個機器手臂、 p 個輸入埠、一個輸出埠; 本案例討論五個情境分別為 $p = 1, 2, 3, 4, 5$ 。排序機下游組立作業每完成一組卡匣的時間為 T 分鐘, TFT卡匣上載或卸下排序機的時間定義相對於下游組立作業的時間, 在此考慮每卸下或裝上一個卡匣須耗時 $0.05T$ 。本模擬比較的基準為目前業界使用的隨機完成順序及過去研究提出的基因啟發式解法。

本案例在驗證執程序上, 是先採用過去研究所發展的基因啟發式解法求解15次, 可得到15個較佳的產出順序, 以這15個目標卡匣組產出順序為輸入資料, 再以本研究方法求解投入順序決策問題, 15個解中績效最高的者則為本演算法之最佳解。

下表4.1是單位裝卸卡匣時間為 $0.05T$ 的模擬結果。此參數的設計乃根據實際生產的情形而訂定, 不同規模及代數(Generation)的LCD廠, 往往有不同裝卸卡匣時間對組立時間的比, 但比值大多為0.05。

表4.1 本研究與其他方法的績效比較

生產情境	輸入埠數	隨機解	基因啟發式		改進績效
			發式	劃法	
CF/TFT 卡匣數=10 基板片數=20 面板數=5	1	89.9%	96.2%	100.0%	3.8%
	2	91.2%	95.9%	100.0%	4.1%
	3	90.0%	95.5%	100.0%	4.5%
	4	89.7%	95.1%	100.0%	4.9%
	5	88.7%	94.5%	100.0%	5.5%
CF/TFT 卡匣數=10 基板片數=20 面板數=30	1	88.5%	92.8%	100.0%	7.2%
	2	89.1%	92.6%	100.0%	7.4%
	3	88.6%	92.7%	100.0%	7.3%
	4	86.3%	92.7%	100.0%	7.3%
	5	85.6%	91.7%	100.0%	8.3%
CF/TFT 卡匣數=15 基板片數=20 面板數=5	1	93.4%	98.3%	100.0%	1.7%
	2	92.6%	98.2%	100.0%	1.8%
	3	93.6%	98.1%	100.0%	1.9%
	4	94.0%	98.0%	100.0%	2.0%
	5	92.6%	97.9%	100.0%	2.1%
CF/TFT 卡匣數=15 基板片數=20 面板數=30	1	93.1%	94.4%	100.0%	5.6%
	2	92.5%	94.2%	100.0%	5.8%
	3	91.6%	94.2%	100.0%	5.8%
	4	90.9%	94.3%	100.0%	5.7%
	5	91.4%	94.4%	100.0%	5.6%
CF/TFT 卡匣數=20 基板片數=20 面板數=5	1	94.9%	98.5%	100.0%	1.5%
	2	95.1%	98.5%	100.0%	1.5%
	3	95.7%	98.4%	100.0%	1.6%
	4	95.5%	98.3%	100.0%	1.7%
	5	96.2%	98.3%	100.0%	1.7%
CF/TFT 卡匣數=20 基板片數=20 面板數=30	1	92.8%	95.2%	95.2%	0.0%
	2	93.1%	96.2%	98.2%	2.0%
	3	93.1%	96.9%	99.1%	2.2%
	4	93.3%	97.7%	99.5%	1.8%
	5	93.5%	97.6%	100.0%	2.4%

由驗證的結果可得知，本研究方法在現今TFT-LCD生產情境中具有十分顯著的效益，壁排序機裝卸卡匣的時間和下游組立機台作業時間比例為0.05的情形下，本研究方法所得到的績效比過去研究利用基因啟發式解法有更佳的表現，改進的績效如表4.1所示，最大有8.3%的改進幅度。

5. 結論

本研究主要是求解於TFT-LCD組立製程中排序機派工決策問題，在給定目標卡匣產出順序的情形下，吾人以動態規劃模型來描述投入順序決策問題，並使用動態規劃系統化的解法進行尋優，績效衡量是為了最大化下游組立壓合機台的利用率。在經過案例驗證後，實驗結果顯示本研究方法就目前業界的生產情境來說，本研究方法顯著地比過去研究所提出的基因啟發式演法及以目前業界使用的方法有更高的效率。

參考文獻

- [1] 李秀玉 (1999) 應用賽局理論分析我國薄膜電晶體液晶顯示器產業之競爭策略，交通大學科技管理研究所碩士論文
- [2] 楊毅臻 (2003) 以基板配對為基礎的LCD廠排序系統規劃之研究，華梵大學工業管理研究所碩士論文
- [3] 楊佳翰 (2004) 應用改良型巨集式啟發式方法於TFT-LCD良率控制最佳化之研究，交通大學工業工程與管理研究所碩士論文
- [4] 張東華 (2005) TFT-LCD組立製程配對作業之研究，交通大學工業工程與管理研究所碩士論文
- [5] 王君豪 (2005) TFT-LCD 排序機派工之研究，交通大學工業工程與管理研究所碩士論文
- [6] Jeong, B., Kim, S. W., and Lee, Y. J., An assembly scheduler for TFT LCD manufacturing, *Computers & Industrial Engineering*, 2004, 41(1), 37-58.
- [7] Kuhn, H. W., The Hungarian method for the assignment game, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1955, 2, 83-97.
- [8] Reeves C. R., A genetic algorithm for flowshop sequencing, *Computers Operations Research*, 1995, 22(1), 5-13.
- [9] Shin, H. J., and Leon, V. J., Scheduling with product family set-up time: an application in TFT LCD manufacturing, *International Journal of Production Research*, 2004, 42(20), 4235-4248.
- [10] Toshihisa, T., TFT/LCD: liquid-crystal displays addressed by thin-film transistors, 1996

(Gordon and Breach Publishers: Australia).

[11] Toba H., A tight flow control for job-shop fabrication lines with finite buffer, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2005, 2(1), 78-83.\