

決策樹應用於波長分割多工環狀接取網路： 動態波長分配機制

黃依賢^{*}

蘇瑞榮^{**}

林逸修^{***}

摘 要

波長分割多工在光纖網路上將頻譜分割成許多不同的頻道（波長），不同的波長上傳輸不同速度的資料。良好的波長分配演算法讓波長作最有效的利用，才能避免資料在傳輸的過程中，因光波長衝突所造成波長轉換與調整延遲的問題，尤其網路流量動態增高時能有效解決傳輸效能瓶頸、提升整體網路的效能。然而，波長分配問題在之前的研究被證明是 NP-Complete，無法得到最佳解。本論文提出以決策樹演算法 ID3 為主的動態波長分配機制應用於波長分割多工技術架構下的環狀接取網路，利用其具有快速分類和預測的學習法來產生波長分配的規則，決策出最適當的波長，使得傳輸過程中光交換器切換與波長轉換發生次數最小，期望減少調整延遲、增加連線機會，因而提升整體傳輸效能。本文利用乙太網路環境配合軟體程式來模擬環狀接取網路，不同的連接埠來模擬不同的波長頻道。實驗結果證明，只要波長在足夠可供使用下，運用決策樹演算法產生波長分配規則於不同的網路流量，以及不同存取節點數與波長數的比例（1：1、2：1 與 4：1）下，能有效地減少光交換器切換與波長轉換的次數，因而降低調整延遲的時間、提升整體傳輸的效能。

關鍵字：波長分割多工、波長分配演算法、網路效能、決策樹、環狀接取網路

* 元智大學 資訊工程研究所副教授

** 康寧醫護暨管理專科學校 資訊管理科講師

***元智大學 資訊工程研究所碩士班研究生

Dynamic Wavelength Assignment Mechanism Using Decision Tree Algorithm on WDM Ring Access Networks

I-Shyan Hwang^{*}

Ruey-Rong Su^{**}

I-Shu Lin^{***}

Abstract

Wavelength Division Multiplexing (WDM) is a technique can divide spectra into many different channels, and deliver the data in the different wavelengths with different transmission speed. To use the wavelength more effectively, we must apply a good routing and wavelength assignment (RWA) algorithm to avoid the problem of wavelength conflict, blocking, and to reduce the number of conversions and tuning latency. Previous studies showed that the RWA problem is NP-Complete. This paper proposes a heuristic RWA algorithm based on Decision Tree - ID3 algorithm. The simulation environment is emulated by Ethernet and software. The simulation proves that using decision tree algorithm to produce the wavelength assignment rule is able to reduce optical switch switching and wavelength conversion occurrence for different ratios of nodes and wavelengths (1:1, 2:1 and 4:1). Therefore, it minimizes the time of the tuning latency and can promote the system transmission performance.

Key Words : WDM, RWA, Decision Tree, Ring Access Network, System performance.

* Associate professor, Department of Computer Science & Engineering, Yuan-Ze University

** Lecturer, Department of Management Information System, Kang-Ning Junior College of Medical Care and Management

*** Graduate Student, Department of Computer Science & Engineering, Yuan-Ze University

然而，用來傳送資料的波長多了之後，波長分配（Wavelength Assignment）[4][5]的問題成為重要議題。例如，資料在 Feeder Network 傳輸時由上一個存取節點傳送至下一存取節點時，若原本使用的波長頻道被其他傳送資料所佔據，於是產生光波長衝突，此時必須進行波長轉換，而波長轉換所造成的調整延遲將大幅度地降低傳輸效能。因此，良好的波長分配演算法能有效的利用波長、避免資料在傳輸過程中的問題，例如，光波長衝突（Wavelength Conflict）、光波長阻隔（Wavelength Blocking）、光波長轉換（Wavelength Conversion）與調整延遲（Tuning Latency）。

由於，波長分配問題在之前的研究被證明是 NP-Complete 的議題，無法得到最佳解[6]。因此，本文提出以決策樹演算法 ID3 為主[7]的動態波長分配機制應用於波長分割多工技術架構下的環狀接取網路，利用其具有快速分類和預測的學習法來產生波長分配的規則，決策出最適當的波長，使得傳輸過程中光交換器切換與波長轉換發生次數最小，期望減少調整延遲、增加連線機會，因而提升整體傳輸效能。由於光纖網路傳輸的介質是光，其傳輸速度快的特性使得波長分割多工技術上不管是繞送或是波長分配的演算法，都是以簡單快速的特性為主，以避免演算法複雜的計算而造成傳輸時間的延遲。因此，把決策樹簡單計算且快速分類的特性應用在波長分割多工技術波長分配演算法，期待可有效的解決波長分配的問題。

本文利用乙太網路環境配合軟體程式來模擬環狀接取網路，每部工作站模擬成環狀接取網路的存取節點，利用軟體來模擬光塞取多工器傳輸的流程，不同的連接埠來模擬不同的波長頻道。在分封交換（Packet Switch）[8]動態分配波長的原則下，建立波長分配規則方法的目的是使資料於傳輸的過程當中，避免波長轉換以及光塞取多工器中光交換器切換動作所造成的時間延遲，以期提升傳輸效能。在波長分割多工接取網路的每個存取節點中，事先利用決策樹演算法來產生波長分配的規則方式，決定出一條最適當繞送的波長，動態地分配資料傳輸到下一個存取節點所使用的波長。使資料在 Feeder Network 傳輸過程中波長轉換以及經過存取節點時所造成光塞取多工器交換器切換發生的次數為最小，進而提升整個傳輸效能。實驗結果證明，只要波長在足夠可供使用下，運用決策樹演算法產生波長分配規則於不同的網路流量，以及不同存取節點數與波長數的比例（1:1、2:1 與 4:1）下，能有效地減少光交換器切換與波長轉換的

次數，降低調整延遲的時間、提升整體傳輸的效能。

第二節敘述決策樹演算法之理論與作法。第三節說明決策樹演算法如何應用於動態波長分配機制中。第四節敘述模擬實驗方式及結果討論，而第五節結論及未來發展。

貳、決策樹演算法之理論與作法

一、決策樹演算法之理論

利用決策樹分類，向下衍生成樹幹及分支當無法建立決策分類時而該節點即成為樹的樹葉，而決策值即為該節點之訓練集中出現機率最大的值。在事先定義的一個閾值（threshold），當分支節點滿足該閾值時，即停止該分支繼續分類。

二、決策樹作法

本文中由隨機選取可用波長的方式模擬資料傳輸一段時間後，利用每個存取節點紀錄傳輸過程中各資料封包的屬性與節點狀態產生決策樹所需的訓練集合，針對每個不同波長的訓練集合，以延遲時間來作為目標值，使用資訊理論的方法來分別建立波長預測的決策樹，根據該存取節點當時可用的波長，以相對應的決策樹來計算並預測出選用該波長後在後續傳輸過程中可能發生的延遲時間。最後將所有可用的波長預測值皆計算出來並建立決策表，以找出最佳決策波長。

參、動態波長分配機制之決策樹波長分配演算法

產生決策樹所需的訓練集合，將隨機選取可用波長的方式產生，在實際模擬資料傳輸一段時間後，每個存取節點紀錄傳輸過程中各資料封包的屬性與節點狀態當成訓練集合，如表一所示，其包括來源節點（Source）、目的節點（Destination）、封包大小（Packet Size）、存取節點波長使用數量（inUseChannel）、隨機選擇出的波長（Wavelength）、光交換器切換次數（#Switch）以及波長轉換次數（#Conversion）。將上述資料記錄依不同波長分開，並計算其延遲時間（Delay Time = #Switch×1ms+2×#Conversion×1ms）[1]後如表二所示。

表 1 決策樹波長分配演算法訓練集合範例

Source	Destination	Packet Size	inUseChannel	#Switch	#Conversion	Wavelength
3	2	2	1	0	0	0
3	1	3	0	0	0	0
3	2	2	2	1	0	0
1	4	2	1	0	1	0
4	1	1	0	0	0	0
3	2	1	1	0	0	0
2	1	2	0	0	0	0
4	3	1	1	2	0	0
4	1	2	0	0	0	0
3	2	3	1	0	0	0
3	2	1	1	0	0	0
3	2	3	1	1	0	0
4	3	1	1	1	0	0
4	3	2	1	2	0	0
2	1	3	0	0	0	0
1	4	2	1	2	1	0
4	2	3	1	1	0	1
4	1	3	0	0	0	1
1	3	3	1	1	0	1
4	2	3	1	1	0	1
1	4	2	1	0	1	1
1	3	2	1	1	0	1
4	2	1	1	0	0	1
4	3	2	1	0	0	1
1	4	2	1	2	0	1
4	3	2	1	1	0	1
1	2	3	1	1	0	1
4	3	1	1	1	0	1
2	1	2	1	0	0	1
1	4	3	1	0	1	1
4	2	2	2	2	0	1
1	2	1	1	0	0	1
3	1	1	0	0	0	1
1	3	2	1	0	1	1
4	2	1	1	0	0	1
1	2	1	1	0	0	1
1	2	2	1	2	0	1
3	1	3	1	0	0	1
2	1	1	0	0	0	1
1	4	2	1	0	1	1

表 2 決策樹波長分配演算法訓練集合範例（依不同波長分開後）

Source	Destination	Packet Size	inUse Channel	Delay Time	Wavelength
3	2	2	1	0 ms	0
3	1	3	0	0 ms	0
3	2	2	2	1 ms	0
1	4	2	1	2 ms	0
4	1	1	0	0 ms	0
3	2	1	1	0 ms	0
2	1	2	0	0 ms	0
4	3	1	1	2 ms	0
4	1	2	0	0 ms	0
3	2	3	1	0 ms	0
3	2	1	1	0 ms	0
3	2	3	1	1 ms	0
4	3	1	1	1 ms	0
4	3	2	1	2 ms	0
2	1	3	0	0 ms	0
1	4	2	1	4 ms	0

(a) 波長為 0 的訓練集合

Source	Destination	Packet Size	inUse Channel	Delay Time	Wavelength
4	2	3	1	1 ms	1
4	1	3	0	0 ms	1
1	3	3	1	1 ms	1
4	2	3	1	1 ms	1
1	4	2	1	2 ms	1
1	3	2	1	1 ms	1
4	2	1	1	0 ms	1
4	3	2	1	0 ms	1
1	4	2	1	2 ms	1
4	3	2	1	1 ms	1
1	2	3	1	1 ms	1
4	3	1	1	1 ms	1
2	1	2	1	0 ms	1
1	4	3	1	2 ms	1
4	2	2	2	2 ms	1
1	2	1	1	0 ms	1
3	1	1	0	0 ms	1
1	3	2	1	2 ms	1
4	2	1	1	0 ms	1
1	2	1	1	0 ms	1
1	2	2	1	2 ms	1
3	1	3	1	0 ms	1
2	1	1	0	0 ms	1
1	4	2	1	2 ms	1

(b) 波長為 1 的訓練集合

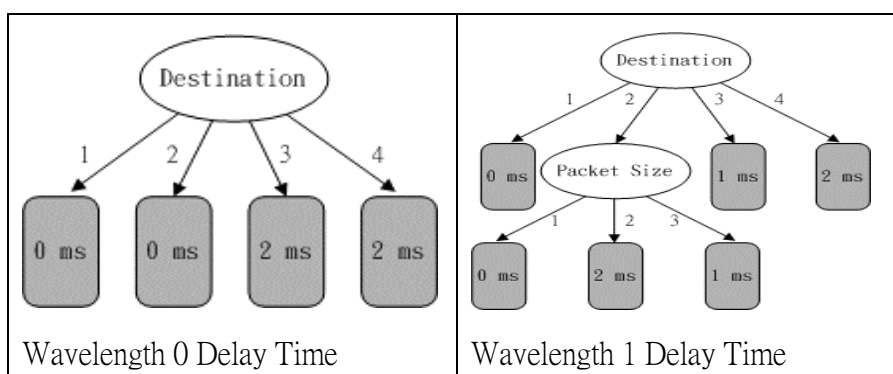


圖 2 決策樹動態波長分配演算法產生決策樹範例

分類後產生出可用波長數量的訓練集合（如上例可用波長數為二，則產生二個訓練集合）。針對每個不同波長的訓練集合，以延遲時間來作為目標值，使用資訊理論的方法來分別建立波長預測的決策樹，並將預先修剪的閥值定義為「訓練集合中某分類超過全部的百分之六十以上」，如圖 2 所示。

當資料封包到達存取節點時，經過前面所敘述的環狀接取網路封包繞送流程運算過後，如判斷出需要波長轉換或是分配波長，則根據該存取節點當時可用的波長，以相對應的決策樹來計算並預測出選用該波長後在後續傳輸過程中可能發生的延遲時間。最後將所有可用的波長預測值皆計算出來並建立決策表，例如：假設到達存取節點的封包資料與當時存取節點狀況為 Source=3、Destination=2、Packet Size=2、inUseChannel=1，可透過圖 2 的決策樹建立如表三之波長決策表。根據表格中各波長計算出來的決策值，選擇決策值為最小的波長來作為資料傳送至下一存取節點所使用的波長，如表三將選擇波長 0 作為資料傳輸至下一存取節點所使用的波長。

表 3 動態波長分配演算法波長決策表

Wavelength	Decision
0	0 ms
1	2 ms

肆、實驗分析、實驗方式與結果討論

在實體網路架構模擬方面，將利用乙太網路環境配合軟體程式來模擬環狀接取網路。在程式模擬方面，我們考慮兩點：第一、在固定的存取節點數量與波長數量下，針對不同的網路流量大小。第二、在相同網路流量下，針對不同的存取節點數與波長數量的比例（1:1、2:1 與 4:1）。評估使用決策樹演算法、隨機選擇波長方式與選擇第一個可使用的波長方式，分析其光交換器切換發生比例（總發生次數除以最多可能發生次數）、波長轉換發生比例與其所造成的延遲時間的差異。

一、實驗模擬方式

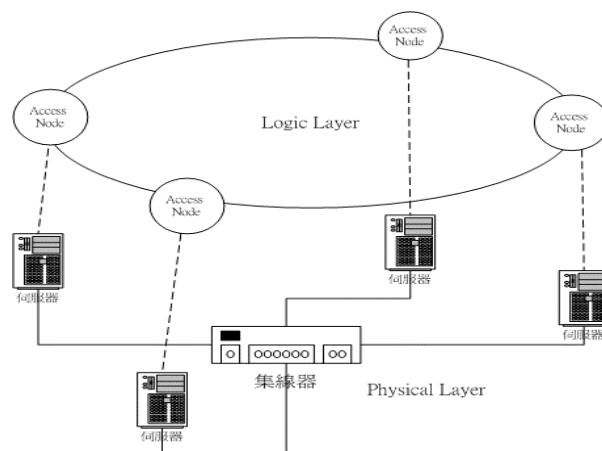


圖 3 網路環境模擬示意圖

實體乙太網路環境下將每一部網路工作站模擬成環狀接取網路的存取節點，利用軟體來模擬光塞取多工器傳輸的流程，不同的連接埠來模擬不同的波長頻道，如圖 3 所示。在乙太網路樹狀架構上，建立一個虛擬環狀接取網路層，透過軟體設定固定傳輸路徑，虛擬出一個環狀的網路架構[9]。在資料傳輸的模擬部分，利用假設的網路頻寬計算虛擬資料封包傳輸的時間來判定波長頻道是否處於傳輸狀態。使用隨時間改變的隨機的方式來產生封包，並在每個虛擬的存取節點中（工作站），建立一個訓練集合資料庫來儲存封包資訊[10]，以及建立波長選擇預測的決策樹。

二、實驗結果與分析

首先，我們考慮在存取節點數為八與可用波長數為四的狀態下，根據網路流量分別為滿載、四分之三、二分之一與四分之一四個狀況下，分析、比較平均光交換器切換發生比例（圖 4）、平均波長轉換發生比例（圖 5）與其所造成的平均延遲時間（圖 6）之差異。圖表中 N 為總存取節點數、C 為可用波長頻道數、T 為網路流量大小。

由圖 4~6 可以發現，決策樹演算法在光交換器切換發生比例、波長轉換發生比例與延遲時間上都可以得到一個比較好的效能，平均每個封包約可減少 0.5 毫秒的時間延遲。特別是在網路流量為二分之一的情況下其效能最為明顯，平均延遲時間減少約 1 毫秒左右。

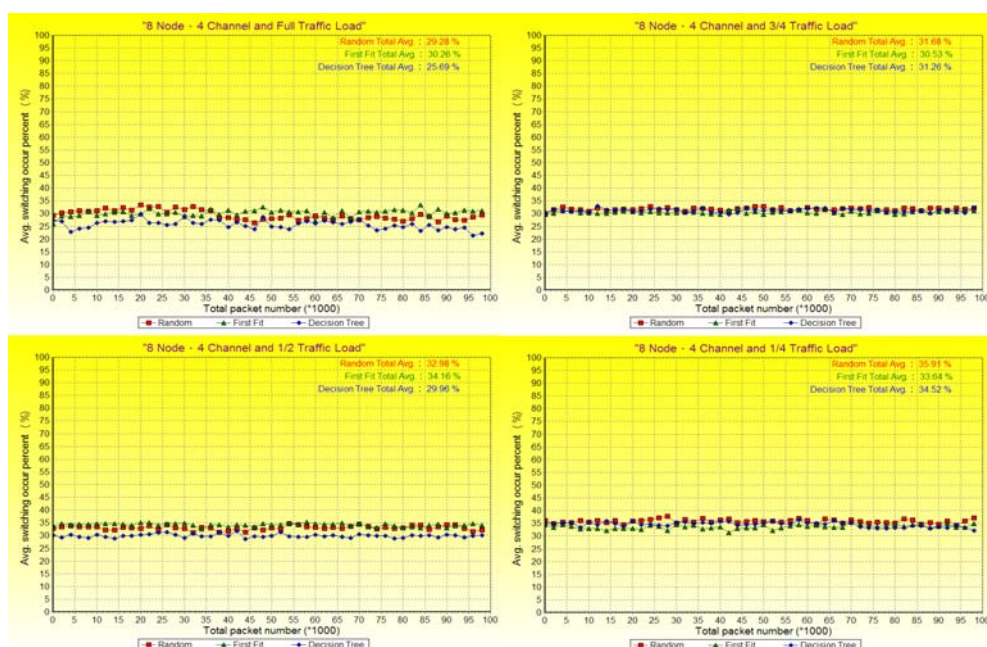


圖 4 $N=8, C=4, T \in \{1, 0.75, 0.5, 0.25\}$ ，平均光交換器切換發生比例

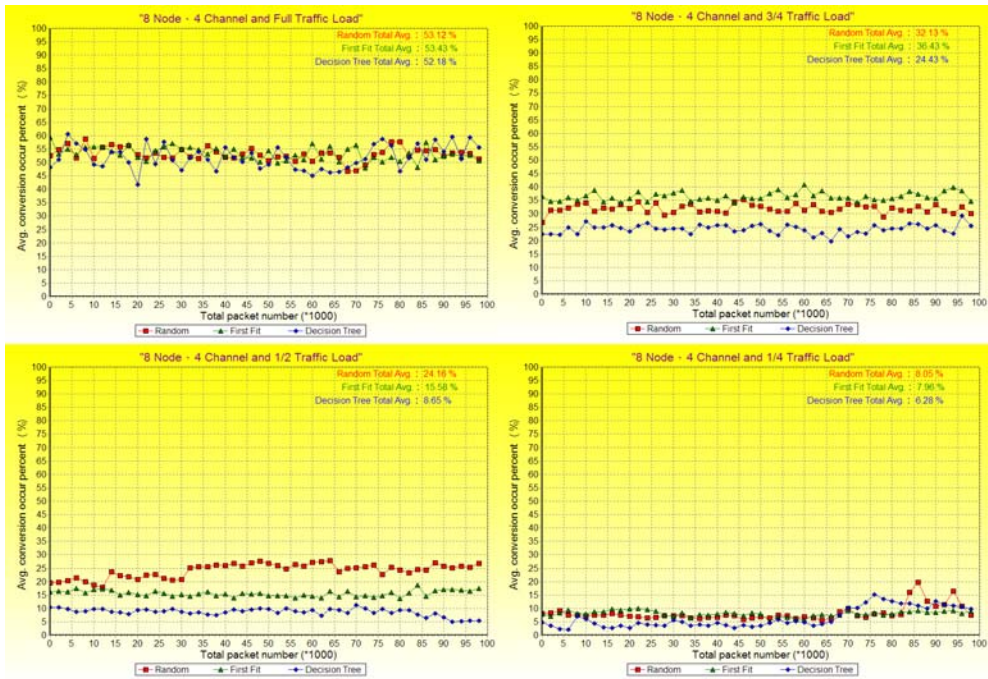


圖 5 $N=8, C=4, T \in \{1, 0.75, 0.5, 0.25\}$ ，平均波長轉換發生比例

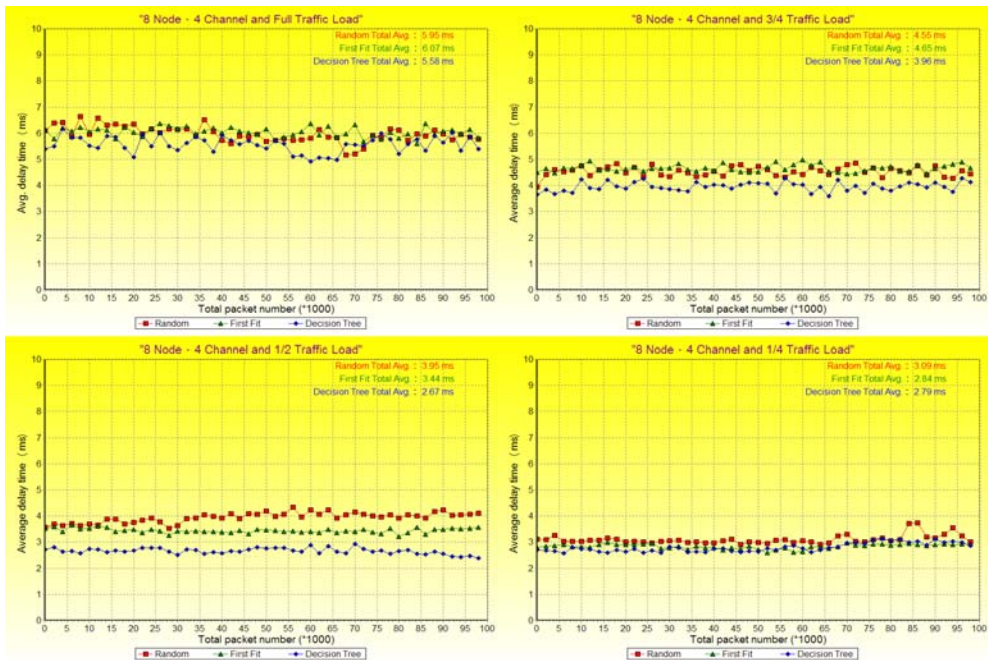


圖 6 $N=8, C=4, T \in \{1, 0.75, 0.5, 0.25\}$ ，平均延遲時間

同樣的，我們針對存取節點數為八與可用波長數八的狀況作相同分析。利用決策樹演算法一樣能得到較好的效能，與先前波長數量為四的情況相同，尤其在網路流量為二分之一的狀況下，決策樹演算法所展現出來的效能最為明顯，平均每個封包延遲時間減少超過 1 毫秒以上，整體平均每個封包延遲時間約可減少 0.75 毫秒左右。

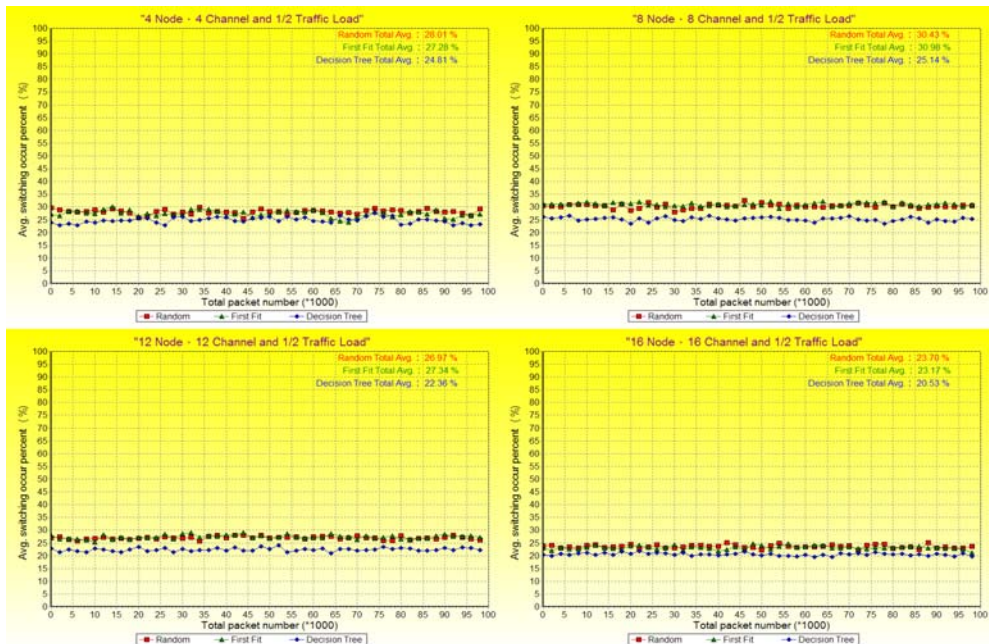


圖 7 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (4,4), (8,8), (12,12), (16,16) \}$ ，
平均光交換器切換發生比例

接下來我們針對三種不同存取節點數與可用波常數的比例，分析、比較運用決策樹與隨機選取或是選擇第一個可用波長的方式所展現出來效能的差異。圖 7~9 為在存取節點數與可用波長數為一比一，網路流量為滿載的狀況下，平均光交換器切換、波長轉換發生比例以及延遲時間之比較。決策樹演算法不管是光交換器切換發生比例、波長轉換發生比例與延遲時間上比起隨機選取或是選擇第一個可用波長的方式都有明顯的改善，最多可減少達 4 毫秒的延遲。由圖中我們可以發現，可用波長數量越多展現出來的效能越是顯著，這也驗證了先前得到的結論，在可調配的波長數較多的情況下，運用決策樹演算法能得到較好的效果。

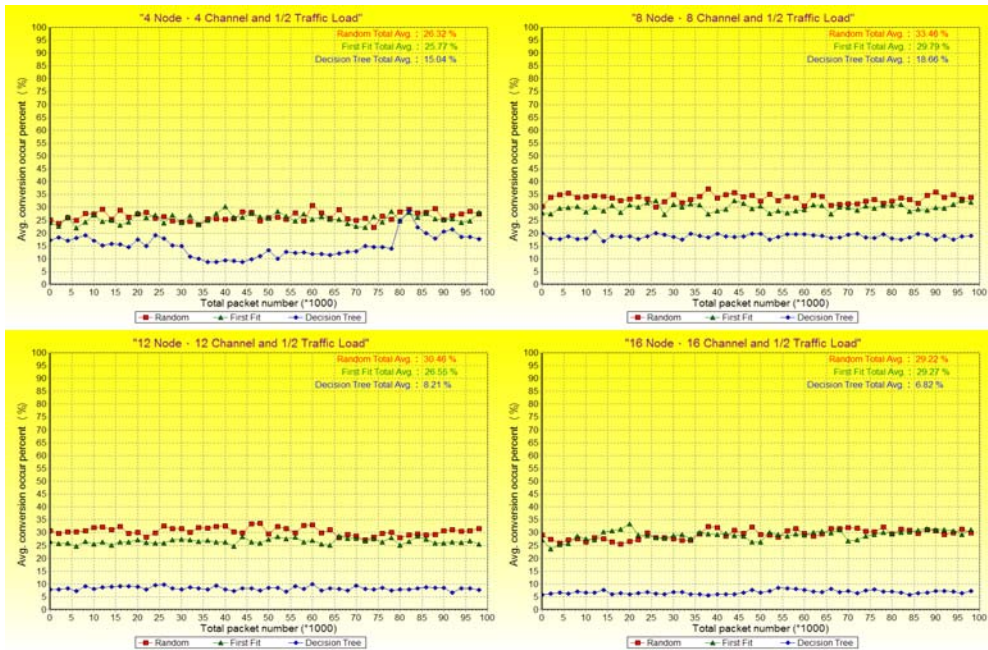


圖 8 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (4,4), (8,8), (12,12), (16,16) \}$, 平均波長轉換發生比例

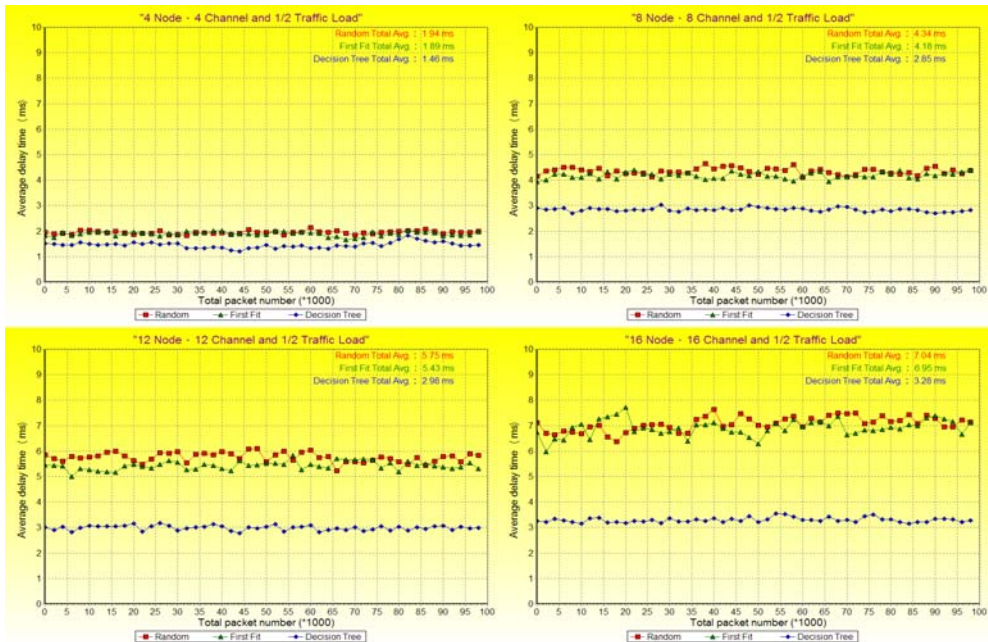


圖 9 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (4,4), (8,8), (12,12), (16,16) \}$, 平均延遲時間

圖 10~12 為在存取節點數與可用波長數為二比一，網路流量為二分之一的狀況下，平均光交換器切換、波長轉換發生比例以及延遲時間之比較。決策樹演算法所展現出來的效能比起隨機選取或是選擇第一個可用波長的方式大部分都有明顯的改善。但是，在節點數為四與波長數為二的狀況下，運用決策樹演算法的效果並沒有展現出來，這是由於決策樹演算法可選擇的波長頻道只有兩個，決策樹演算法能發揮的預測能力有限，因此在效能上無法明顯展現出來。

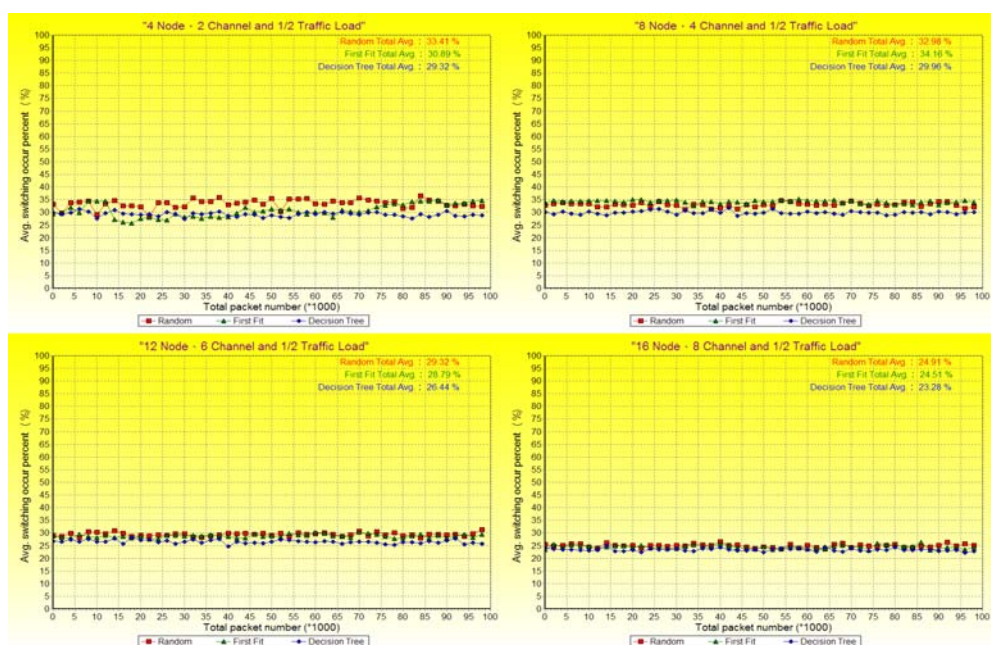


圖 10 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (4,2), (8,4), (12,6), (16,8) \}$,
平均光交換器切換發生比例

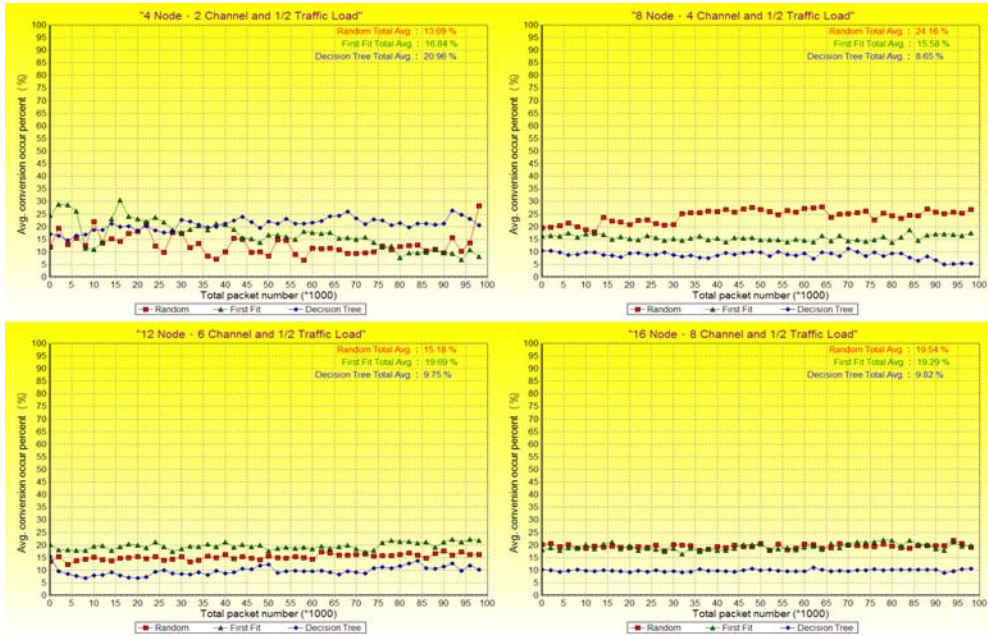


圖 11 $T=0.5$, $(N,C) \in \{(4,2), (8,4), (12,6), (16,8)\}$, 平均波長轉換發生比例

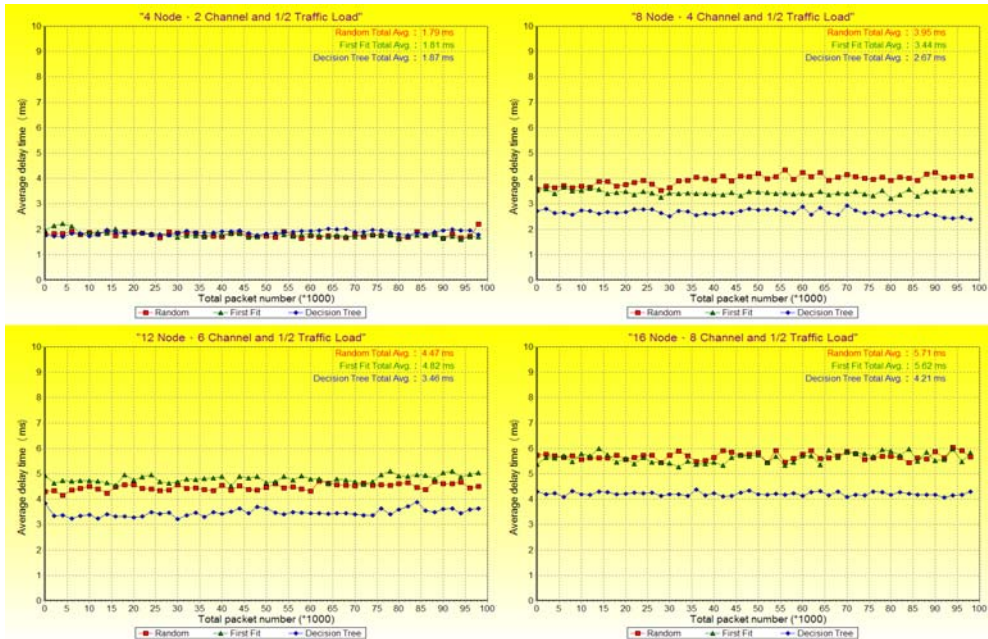


圖 12 $T=0.5$, $(N,C) \in \{(4,2), (8,4), (12,6), (16,8)\}$, 平均延遲時間

圖 13~15 為在存取節點數與可用波長數為四比一，網路流量為二分之一的狀況下，平均光交換器切換、波長轉換發生比例以及延遲時間之比較。在存取節點數與可用波長數為四比一的狀況下，運用決策樹展現出來的整體效果並沒有像一比一與二比一的狀況下那樣顯著。在可用波長數較少情況下光交換器切換發生比例與隨機選取或是選擇第一個可用波長的方式幾乎相同，只有在波長轉換發生比例上有稍微的改善。然而由圖中可以發現在二十四個節點、六個波長的網路環境下，運用決策樹演算法所得到的效果仍然是相當顯著，約可減少 1 毫秒的時間延遲。

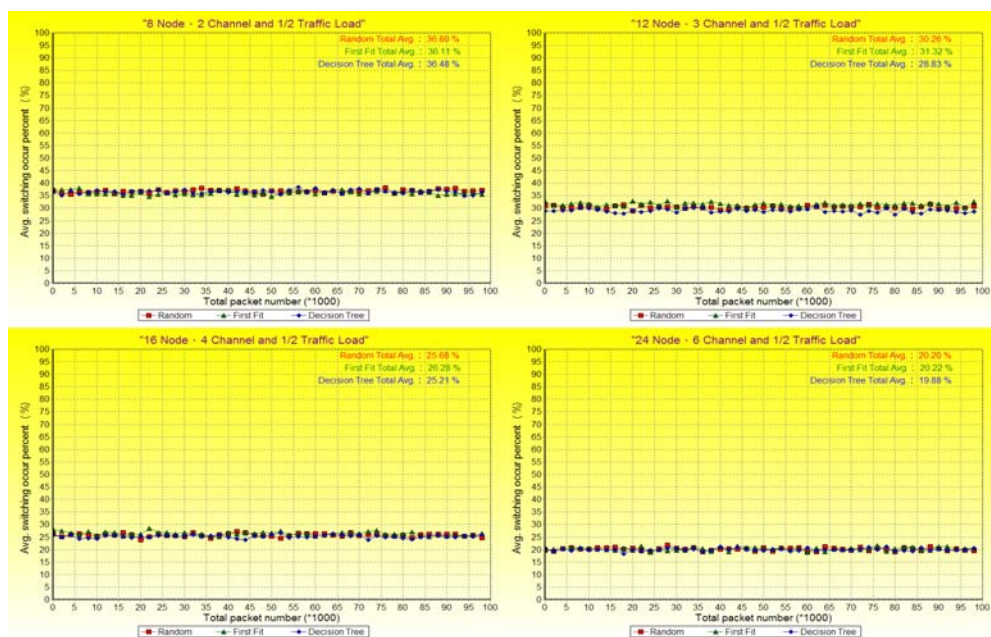


圖 13、 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (8,2), (12,3), (16,4), (24,6) \}$,
平均光交換器切換發生比例

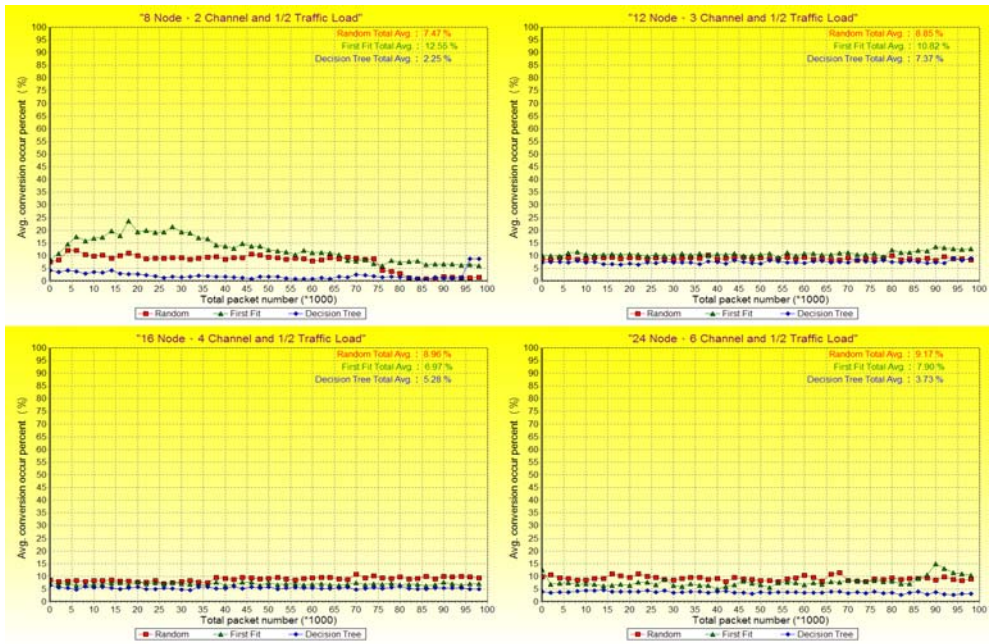


圖 14 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (8,2), (12,3), (16,4), (24,6) \}$,
平均波長轉換發生比例

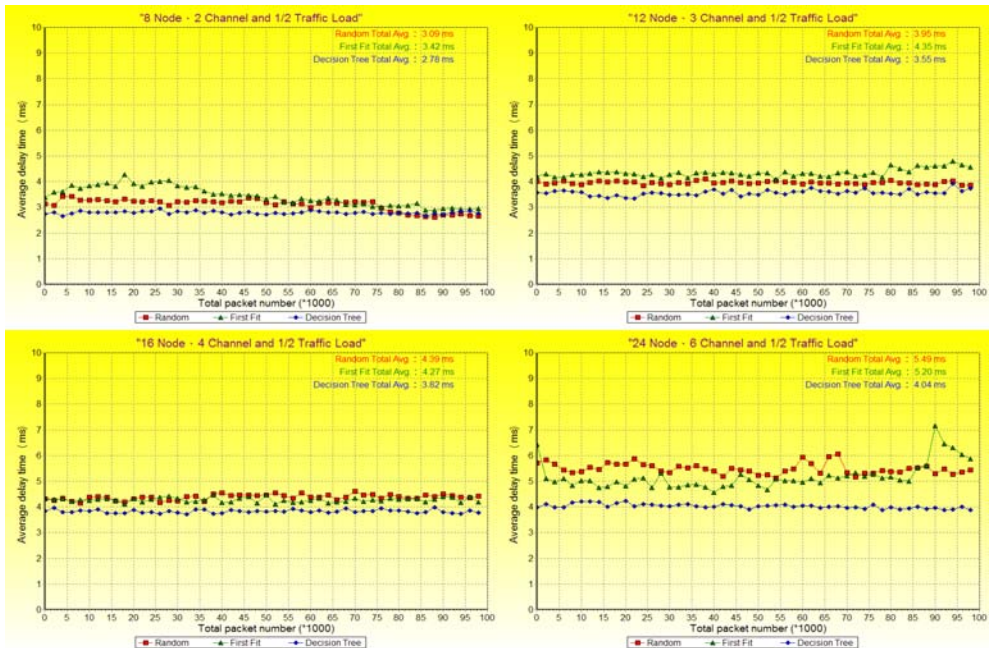


圖 15 $T=0.5$, $(N,C) \in \{ (8,2), (12,3), (16,4), (24,6) \}$,
平均延遲時間

三、討論

實驗結果告訴我們，當網路流量大小處於中等的情況下，使用決策樹的方式來作為波長分配的法則將有助於減少光交換器切換與波長轉換發生的比例，進而降低兩者造成的時間延遲，特別是在波長的數量增加時更為明顯。但是，在高網路流量的情況下，決策樹演算法雖然也展現出其預測的效能，但是與隨機選取或是選擇第一個可用波長的方式在效能的差異上並不是非常的顯著。綜合各項實驗，我們發現運用決策樹的演算法則，能夠有效地分析並預測出較好的波長分配規則，其前提是必須提供決策樹足夠可選擇的波長。

伍、結論

本文提出以決策樹演算法 ID3 為主的動態波長分配機制應用於波長分割多工技術架構下的環狀接取網路。經實驗的結果，不管是在各種比例的存取節點數與波長頻道數下，或是在不同網路流量的狀態下，只要有充分的波長頻道可供調配使用，運用決策樹分類預測能力所產生出來的波長分配規則，能有效解決動態即時系統的傳輸效能瓶頸、提升整體網路的效能。未來研究的方向可以針對網路流量增高時，如何有效率調節網路節點的流量、對暫存於暫存區的資料封包作有效的管理、服務品質（QoS）與多重播送（Multicast）的探討，使波長分割多工技術環狀接取網路動態波長分配機制更加的完整，並且可將 ID3 決策樹歸納演算法演進至 C4.5[11]決策樹歸納演算法或更先進之演算法如 C5.0[12] 更加強本身的學習能力使結果更趨近於最佳解的模式。

參考文獻

- S. Steinke, *Network Magazine*, May 1, 2000. "Fundamentals of Optical Networking: Todays fiber optic systems support throughputs as high as 1Tbit/sec", <http://www.networkmagazine.com/article/NMG20000517S0145/2>. [1]
- R. Wagner, R.C. Alferness, A.A.M. Saleh and M.S. Goodman, , *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 14, No. 6, pp. 1349-1355, June 1996. "MONET: Multiwavelength optical networking" [2]

- R. Gaudino and D.J. Blumenthal, *IEEE Photonic Technology Letters*, Vol. 11, No. 8, pp. 1060-1062, August 1999. “*Remote Provisioning of a Reconfigurable WDM Multichannel Add/Drop Multiplexer*”. [3]
- T. Lee, K. Lee and S. Park, , *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 10, pp. 2146-2154, October 2000. “*Optimal Routing and Wavelength Assignment in WDM Ring Networks*” [4]
- D. Banerjee and B. Mukherjee, , *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 5, pp. 903-908, June 1996. “*A Practical Approach for Routing and Wavelength Assignment in Large Wavelength-routed Optical Networks*” [5]
- O. Gerstel and S. Kutten, , in *Proc. IEEE International Conference Communication*, pp. 432-436, June 1997 “*Dynamic Wavelength Allocation in All-optical Ring Networks*” [6]
- J.R. Quinlan, *Machine Learning*, Vol. 1, No. 1, pp. 81-106, 1996. “*Induction of Decision Trees*” [7]
- L. Xu, H.G. Perros and G. Rouskas, *IEEE Communications Magazine*, pp. 136-142, January 2001. “*Techniques for Optical Packet Switching and Optical Burst Switching*” [8]
- Lachlan L. H. Andrew , , August 2004, *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)* , Volume 12 Issue 4 ”*Fast Simulation of Wavelength Continuous WDM Networks*” [9]
- Yuanyuan Yang, Jianchao Wang, , December 2004, *IEEE Transactions on Computers*, Volume 53 Issue 12 “*Designing WDM Optical Interconnects with Full Connectivity by Using Limited Wavelength Conversion*” [10]
- J.R. Quinlan, , San Mateo, Calif.: Morgan Kaufmann, 1993. “*C4.5: Programs for Machine Learning*” [11]
- S. Russell and P. Norving, , Prentice-Hall International Editions, 2002. “*Artificial Intelligence a Modern Approach*” [12]