

一個在半透明分波多工網路下的再生器配置演算法

張弘毅¹國立高雄第一科技大學
資訊管理系所¹leorean@nkfust.edu.tw¹王靖宇²國立高雄第一科技大學
資訊管理系所²u0024818@nkfust.edu.tw²熊群傑³國立高雄第一科技大學
資訊管理系所³u0224816@nkfust.edu.tw³

摘要

網路流量需求與日俱增，在光纖網路的發展下，分波多工成為非常重要的技術；其中，半透明分波多工網路結合了電子訊號及光訊號的交換，合理滿足了光訊息品質與傳輸距離的兩難。然而因距離的問題我們需要在節點上配置再生器，使訊號能夠成功傳遞到目的端，但是再生器的配置成本昂貴，故如何配置再生器的演算法仍是一個值得探討的問題。本研究採用三種權重計算方式——距離權重（此指以「距離」作為權重）、轉移權重（transitional weight, TW）及兼採以上二種權重，來模擬再生器的配置方式、阻斷率、訊務需求量以及再生器配置數量的關係，目的在於使資源在有限的情況下，電信業者及企業能夠以有效的配置來節省資源，經實驗結果表明混合配置法能夠有效的在較少數量的再生器配置來達到全部節點配置再生器之效果。

關鍵詞：半透明分波多工網路、再生器配置

1. 前言

網路儼然已成為我們不可或缺的一部份，帶來許多的便利性，所以我們對於網路的流量需求漸增。隨著網路的應用越來越多元，從早期檔案傳輸、電子信箱發展到現今的影音、雲端服務、視訊會議、電子商務等，網路的應用越來越普及，光網路負荷漸增。

在較早的光網路上，一條光纖只能配置一個特定的波長來傳遞，有了分波多工技術後，可將多條的光波長聚合在同一條光纖上面做傳輸，這麼一來便不需要再配置更多的光纖，在相同的成本下使效率更為提高，使遽增的網路需求得以滿足。

在分波多工網路中，當有一個連線的需求到達時，會根據來源設備及目的端來配置路由（Route）；該走哪條路徑，決定好路徑之後接著配置波長來傳輸資訊，而這個配置路由跟波長的過程就稱為路由與波長分配（Routing and Wavelength Assignment, RWA）[1]，當成功建立之連線就稱為光路徑（Light-path）。然而，光路徑建立成功與否會影響到整體網路的阻斷率（Blocking Probability, BR）。在網路中，由於距離的關係，訊號會隨著距

離長度與色散等影響逐漸衰減、變形也會產生阻斷，半透明網路是將光網路在節點配置再生器（Regenerator），再生器同時擁有光與電的性質，使得光網路也可以進行 3R。再生器在配置上，成本仍然過於昂貴，且必須滿足傳輸品質（Quality of transmission, QoT）[2]的需求。

2. 文獻探討

許多學者提出各式的再生器配置議題，本章節將討論過去所提出的再生器配置的方法。在[3]中主要在考量配置較低成本之再生器，內容指出再生器的種類分為 1R、2R 及 3R，其中 3R 再生器因需要進行光電轉換（O/E/O）所以成本最高，所以目的在於以 2R 再生器配置來減少 3R 再生器之配置數量。圖 1 中，假設位元錯誤率（Bit error rate, BER）的門檻值為 $1E-4$ ，BER 值過高則無法滿足傳輸品質的需求。首先在每個節點配置 1R 再生器，當距離低於 9 個 hop 時，因位元錯誤率會低於門檻值，故 3R 的請求會被排除；若距離達 9 個 hop 以上，則位元錯誤率高於門檻值，此時將考慮配置 2R 再生器。根據演算法之步驟，在有 2R 再生器可用的情況下且位元錯誤率高於門檻值時，我們將配置 2R 再生器，如果配置 2R 再生器後，位元錯誤率仍高於門檻值則標註應配置 3R 再生器，反之則標註不需配置 3R 再生器了。

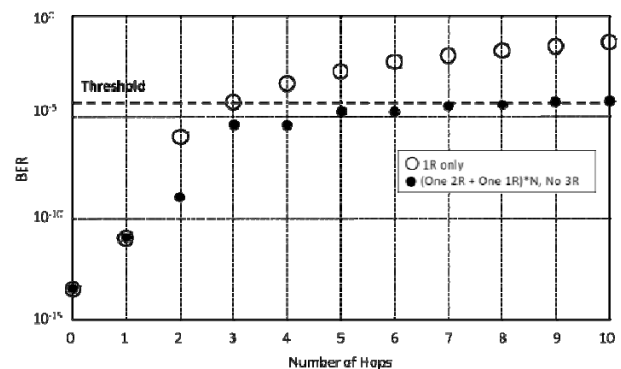


圖 1 不同情形下的位元錯誤率

這是考慮每個節點都配置再生器之情形，其優點能夠有效節省 3R 再生器配置，但無法有效降低全部再生器配置之數量。

另一篇[4]中則是以 HNF（Hub node first）演算

法來找尋適合配置再生器的節點，首先會先找節點中節點度 (nodal degree) 最大者，如圖 2 的 (a) 所示，假如要在拓樸中配置兩個再生器於節點上，節點 2 與節點 3 的節點度皆為 3，隨機選擇節點 3 作為配置再生器之節點，選擇節點 3 後將被選擇節點的相鄰節點如圖 2 (b) 節點 1 及節點 4 各延伸出一條虛線。分出虛線後再比較新的分支度結果，節點 2 的節點度為 4，故配置於節點 2，之後其相鄰節點為節點 0 與節點 4，此時再將相鄰節點分出虛線最後構成完全連接圖形如圖 2 (c)。

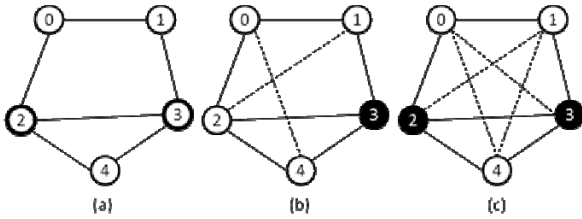


圖 2 Hub node first 演算法流程

另外，有研究指出，以轉移權重[5]的方式來找出最佳的再生器配置位置，其作法先找出該拓樸所有點到點之最短路徑路由，接著將每個路由所經的中間節點權重值加 1，累加後權重值最高的點來配置再生器。如圖 3 所示，共有 4 條路徑 0→1→3、3→1→0、0→1→2、2→1→0，所以節點 1 的權重值為 4，而其它節點都不是中間節點所以權重值為 0，節點 1 則為配置再生器之節點。來源端到目的端新的總距離長度也因為再生器配置的關係重新改變，原先的 0→1→3 長度為 3，節點 1 配置了再生器之後新的距離長度會將來源端到再生器端與再生器端到目的端兩者做比較，較長者成為新的 0→1→3 之長度。

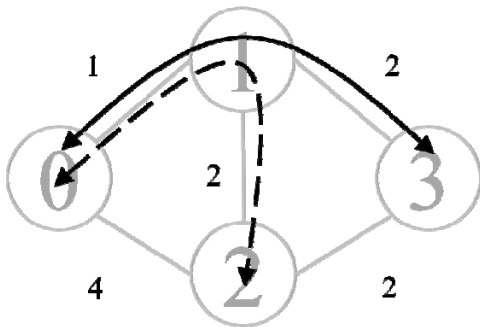


圖 3 轉換權重配置演算法

這種配置再生器的方法是將再生器配置於經過最短路徑路由後最熱門的節點，但若將距離納入考慮，把再生器配置在真正需要再生的地方也許能夠對整體阻斷率的降低更有幫助，如圖 4 所示，假如有三個連線請求，依其熱門程度會將再生器配置於節點 1，但是配於節點 1 時由於距離短反而沒有將再生器有效利用，所以將距離納入考量的話則會考慮節點 3，於是將把轉移權重方法做改良希望能夠達到所期望的目標。

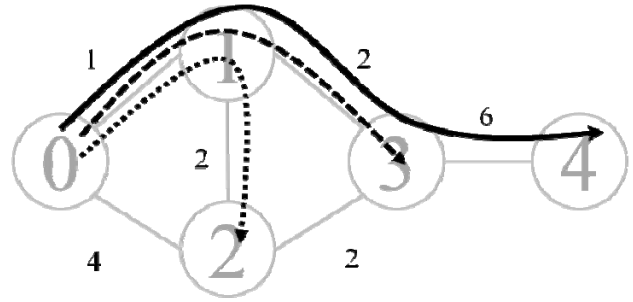


圖 4 考慮距離示意圖

3. 再生器配置演算法

在文獻中，提到以轉移權重配置演算法 (transitional weight, TW) 找出適合配置再生器之節點，本研究將考慮距離配置演算法以及混合兩者性質的演算法來找到最佳配置再生器的位置，其假設參數及符號如下。

相關參數

$G(V,E)$: G 為拓樸圖， V 為所有節點集合， E 為所有鏈結的集合。

s : 來源點。

d : 目的點。

N : 節點總數量， n 為節點編號， $0 \leq n < N$ 。

$\langle s, d \rangle$: s 到 d 的最短路徑。

$len(s, d)$: s 到 d 路徑之長度。

$w[n]$: 節點 n 之權重值。

R : 所有再生器數量之集合， $r \in R$ 。

$flag$: 紀錄迴圈比較次數的標籤

tw : 為存放轉移權重之節點陣列， i 為陣列位置。

dw : 為存放距離權重之節點陣列， j 為陣列位置。

mix : 為存放混合權重之節點陣列， k 為陣列位置。

3.1 轉移權重配置演算法

虛擬碼

1. /*output distance weight node*/
2. for each $s \in V$ do //建立拓樸
3. for each $d \in V$ do
4. {
5. find $\langle s, d \rangle$; //找出最短路徑
6. find $len(s, d)$; //路徑長度
7. for each node n in $\langle s, d \rangle - \{s, d\}$; //中間節點
8. {
9. $w[n] = w[n] + 1$; //權重值+1
10. if $w[n] >$ each node $w[n]$ //加總，權重最大者
11. n placed regenerator $r \in R$ //配置再生器
12. }
13. } //end for
14. } //end for

3.2 考慮距離權重配置演算法

虛擬碼

```

1. /*output distance weight node*/
2. for each  $s \in V$  do//建立拓樸
3.   for each  $d \in V$  do
4.   {
5.     find  $\langle s, d \rangle$ ;//找出最短路徑
6.     find  $len(s, d)$ ;//路徑長度
7.     for each node  $n$  in  $\langle s, d \rangle$ ;//中間節點
8.     {
9.        $w[n] = w[n] + len(s, d)$ ;//權重值為路徑長度之
10.      if  $w[n] >$  each node  $w[n]$ //加總，權重最大者
11.         $n$  placed regenerator  $r \in R$ ;//配置再生器
12.      }
13.    }//end for
14.  }//end for

```

圖 5 為距離權重配置法，首先先由最短路徑演算法找出最短路徑路由及長度，接著找出不包含來源端及目的端之中間節點，而圖中雙向箭頭為有中間節點之路由。找出中間節點後，其權重值為整條路由之長度加總，圖中的中間節點為節點 1 及節點 3，節點 1 的權重值為 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ 、 $2 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 、 $4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 長度加總後為 30，而節點 3 的權重值為 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 、 $4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 、 $4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ 、 $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 、 $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ 、 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 長度加總後為 50，故節點 3 為最佳配置節點。

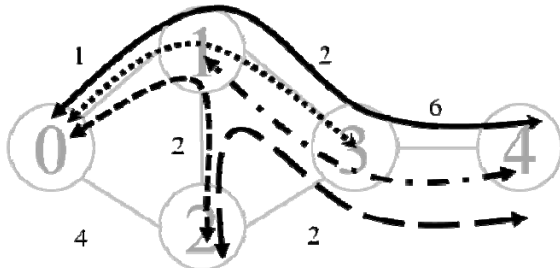


圖 5 距離權重配置演算法

3.3 混合權重配置演算法

將轉移權重與距離權重依降冪排列，之後將 $tw[i]$ 與 $dw[j]$ 兩相依序比較，若相同者則為混和權重 $mix[k]$ 的優先配置權重節點，其虛擬碼如下：

虛擬碼

```

1. /*input transitional and distance weight node*/
2. /*output mix node weight*///由大到小排序權重
3. descending order  $tw[i]$  and  $dw[j]$  //由大到小排列
4. for  $flag$  1 to  $N$ 
5.    $k=0$ ;
6.   {
7.      $i=0, j=0$ ;//initialize  $i$  and  $j$ 
8.     for  $i$  to  $flag$  do
9.       for  $j$  to  $flag$  do
10.      {
11.        if  $tw[i]=dw[j]$ //如果兩權重內的節點相同

```

```

12.      {
13.         $mix[k]=tw[i]$ ;//mix 陣列用來存放結果
14.         $k++$ ;
15.      }//end if
16.    }//end j
17.  }//end for
18.

```

圖 6 混合節點配置

| 權重值 | 轉移權重 | 距離權重 | 混合權重 |
|-----|-----------|-----------|------|
| 高 | $tw[0]$ 5 | $dw[0]$ 5 | 5 |
| | $tw[1]$ 8 | $dw[1]$ 7 | 8 |
| | 7 | 8 | 7 |
| | 12 | 4 | 3 |
| | 3 | 6 | 4 |
| | 4 | 3 | 13 |
| 低 | 13 | 2 | 2 |

如圖 6 所示，混合權重之找法首先 $flag=1$ 時，迴圈會進行一次比較，將轉移權重 $tw[0]$ 與 $dw[0]$ 兩相比較是否有相同節點，若有則將節點值放入 $mix[0]$ 中作為混合配置的權重，接著 $flag=2$ ，此時會將 $tw[0]$ 、 $dw[0]$ 、 $tw[0]$ 、 $dw[1]$ 、 $tw[1]$ 、 $dw[0]$ 、 $tw[1]$ 、 $dw[1]$ 來比較，比較的次數為 $flag$ 值的平方，圖表比較結果，在 $flag=2$ 的時候為 (5,5)、(5,7)、(8,5)、(8,7)，仍只有找出 5 做為最佳配置節點，迴圈一直進行至最後就便能找出混合配置權重的全部節點。

4. 效能評估

本研究網路模擬使用 C 語言來撰寫，以十四節點的 NSFNET 網路建立拓樸如圖 6 所示，當連線請求到達時，依此拓樸進行最短路徑演算法找出適當的路由，再依波長配置演算法進行波長配置，來評估阻斷率的情形。模擬資料如下：

- (1) 十四節點 NSFNET 網路：有 14 個節點和 21 個雙向鏈路。
- (2) 平均到達時間 (arrival time) 為 10 至 80 單位時間，以每 10 為一個單位。訊務需求為波松分配 (Poisson Distribution) 產生，平均占用時間 (holding time) 為 10 單位時間，以負指數分配 (Negative Exponential) 來表示。
- (3) 路由部分以 Dijkstra 演算法來計算最短路徑，
- (4) 建立光路徑之波長配置部分，使用優先配置 (First Fit, FF)。
- (5) 節點與節點間為單條之光纖線路，其每線段之間的波長配置數量 20 條波長。
- (6) 連線需求被阻斷的條件為：波長數量不足，無可用波長及因為距離衰減，長度超過 300 單位後將阻斷。模擬結果之阻斷率為計算 10 次之平均值。

| | | |
|--|----|----|
| | 12 | 12 |
| | 3 | 3 |
| | | 4 |
| | | 13 |

圖 7 十四節點 NSFNET 網路 (14-node NSFNET network)

4.1 全部節點配置再生器與無節點配置再生器之阻斷率環境模擬

圖 8 所示, X 軸表示訊務需求量, Y 軸表示阻斷的機率。在全部節點均有再生器的情況下, 阻斷率隨著需求增加而增加, 我們將以此結果作為最好的情形, 作為與其他節點配置比較之模擬依據。而在沒有再生器的情形下, 訊務需求為 100 Erlangs 時, 阻斷率由原先的 0.014305 提高到了 0.336550, 此結果表示: 因距離因素造成波長衰減而阻斷的機率比全部配置再生器的情況多了 32% 之多, 而訊務量持續增加下, 到了 800 Erlangs 時, 無再生器的阻斷率為 0.619284, 比有再生器的情況 0.540226 多了約 7%, 阻斷的差距因訊務量增加使兩數據差距漸緩。模擬中將無再生器配置情形作為最差情況之模擬依據。

圖 8 全部配置與無配置再生器: 訊務量與阻斷率之關係

4.2 轉移權重節點配置再生器之阻斷率環境模擬

假設部分節點都不具有波長再生之功能, 只有在轉移權重所選的 2 個、5 個及 7 個節點配置再生器的節點才具有波長轉換功能, 如表 1, 表中數字為節點編號。

表 1 過渡節點配置所在節點

| 兩個節點 | 五個節點 | 七個節點 |
|------|------|------|
| 5 | 5 | 5 |
| 8 | 8 | 8 |
| | 7 | 7 |

結果如圖 9 所示, 以轉移權重方式配在於二個節點, 100 Erlangs 時阻斷率為 0.11, 五個節點時為 0.035, 七個節點時為 0.014。從二個節點提升至五個節點時, 改善可達將近 7%, 增加至七個節點時可改善的阻斷率約為 2% 可看出五個節點後再配置再生器所能降低阻斷率的效果不明顯。且當 800 Erlangs 時可以看出, 二個節點配置時阻斷率 0.574, 到了五個節點時, 只能降低 4%, 到了八個節點時僅能降低約 1%, 而從 100 到 800 Erlangs, 亦可以看出 Erlangs 越大時, 因距離的關係所造成波長衰減影響的阻斷漸不明顯。

圖 9 轉移權重二、五、七個節點配置比較

4.3 考慮距離節點配置再生器之阻斷率環境模擬

此模擬將模擬根據考慮距離節點配置, 選出最常經過路由之總距離長度較長者之節點配置再生器, 結果將呈現在此配置下, 2 個節點、5 個、7 個節點之阻斷率。假設部分節點都不具有波長再生之功能, 只有在轉移權重所選的 2 個、5 個及 7 個節點配置再生器的節點才具有波長轉換功能, 如表 2, 表中數字為節點編號。

表 2 考慮節點配置所在節點

| 兩個節點 | 五個節點 | 七個節點 |
|------|------|------|
| 5 | 5 | 5 |
| 7 | 7 | 7 |
| | 8 | 8 |
| | 4 | 4 |
| | 6 | 6 |
| | | 3 |
| | | 2 |

在考慮距離配置再生器的情況下圖 9 所示, 100 Erlangs 時, 二個節點配置時阻斷率為 0.112, 五個節點時為 0.091, 下降約 2%, 而配置七個節點時為 0.034, 下降了 6% 左右; 在 800 Erlangs 時, 二

個節點配置時阻斷率為 0.589，五個節點時為 0.576，而到了七個節點配置時為 0.551，而考慮距離配置必須八個節點配置再生器時才能達到全部配置之效果，當 Erlangs 漸增時，再生器能改變阻斷機率的影響力漸小，主要的阻斷率來自於無可用之波長。

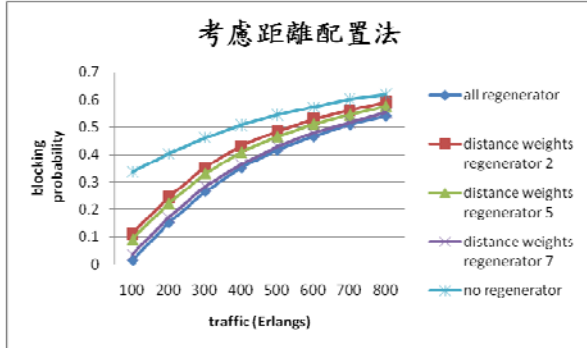


圖 9 考慮距離二、五、七個節點配置比較

圖 10 為全部配置再生器、無配置再生器、在二個節點的轉移權重配置以及考慮距離下配置之綜合比較，下圖可以發現，過渡權重的降低阻斷率效果優於考慮距離配置方法，但是兩者差距不多，約 1 至 2% 左右，兩者的降低阻斷率效果將非常接近。

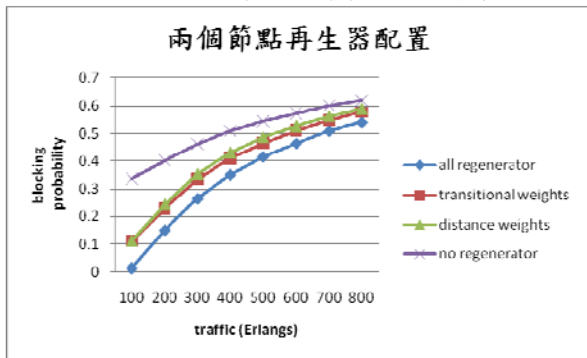


圖 10 二個再生器配置下之綜合比較

圖 11 為在五個節點的轉移權重配置以及在五個節點考慮距離下配置之綜合比較，圖中可以發現，轉移權重配置方法在五個節點配置上比起兩個節點配置有效降低了 7%，而考慮距離配置方法只有約 2% 表現不明顯，而且轉移權重配置法已經很接近全部節點配置再生器。

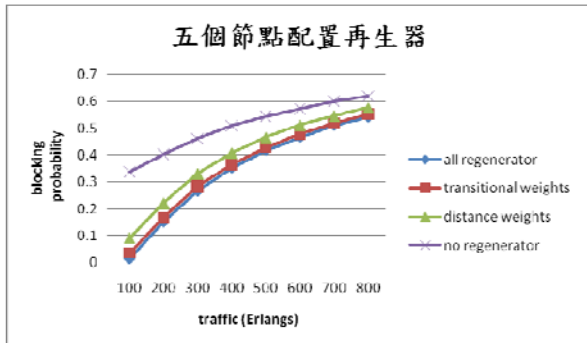


圖 11 五個再生器配置下之綜合比較

圖 12 為在七個節點的轉移權重配置以及考慮距離下配置之綜合比較，在七個節點配置時，轉移權重配置已能達到全部配置之效果，考慮距離配置還沒有辦法到達全部配置再生器之效果。

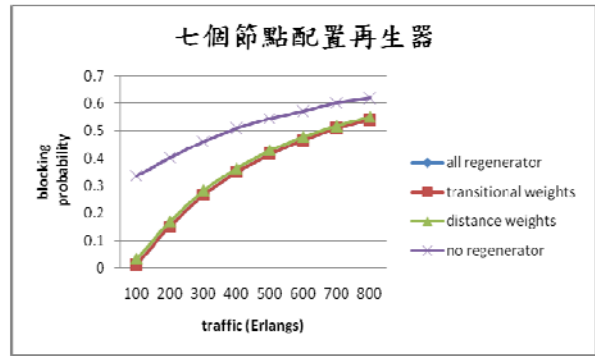


圖 12 七個再生器配置下之綜合比較

4.4 混合轉移權重與考慮距離配置環境模擬

假設部分節點都不具有波長再生之功能，只有在該配置方式下所選的 2 個、5 個、7 個節點具有波長再生之功能，表 4 為所配置之節點。

表 4 混合節點配置所在節點

| 兩個節點 | 五個節點 | 七個節點 |
|------|------|------|
| 5 | 5 | 5 |
| 8 | 8 | 8 |
| | 7 | 7 |
| | 3 | 3 |
| | 4 | 4 |
| | | 13 |
| | | 2 |

因同時考慮轉移權重及考慮距離配置，以轉移權重為基準下，二個節點配置再生器之節點與轉移權重配置相同，在 100 Erlangs 的情況下，二個節點配置時，阻斷率為 0.111，而在五個節點配置的情況下為 0.036，而在六個節點時發現阻斷率為 0.014，且從下圖 13 得知，混合配置方法在六個節點配置的情況下就能做到全部節點配置再生器之效果。

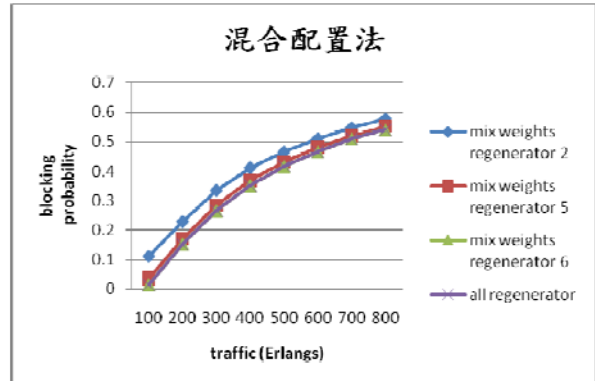


圖 13 混合配置二個、五個、六個節點配置比較

5. 結論

網路流量需求越來越大，在光纖網路的發展下，半透明分波多工網路結合了電子訊號及光訊號的交換，滿足了光訊息品質與傳輸距離的兩難。配置再生器的演算法是一個值得探討的問題，而在本研究新的配置方法中，已有了明確的比較及結果。混合配置法在六個節點配置時便能達到全部節點配置再生器之效能，相較於轉移配置與考慮距離配置兩種方式，分別需要配置七個與八個再生器才能達到全部配置的效能，所以比起另外兩者，混合配置法能夠再節省一至兩個節點的再生器配置成本。

參考文獻

- [1] B. Li and X. Chu, "Routing and wavelength assignment vs. wavelength converter placement in all-optical networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 41, pp. S22-S28, 2003.
- [2] S. Al Zahr, M. Gagnaire, and N. Puech, "Impact of wavelength assignment strategies on hybrid WDM network planning," in *Design and Reliable Communication Networks, 2007. DRCN 2007. 6th International Workshop on*, 2007, pp. 1-7.
- [3] Z. Zhu, "Mixed placement of 1R/2R/3R regenerators in translucent optical networks to achieve green and cost-effective design," *Communications Letters, IEEE*, vol. 15, pp. 752-754, 2011.
- [4] G. Shen and W. Grover, "Segment-based approaches to survivable translucent network design under various ultra-long-haul system reach capabilities [Invited]," *Journal of Optical Networking*, vol. 3, no.1 , pp. 1-24, 2004.
- [5] G. Shen, W. Grover, T. Cheng, and S. Bose, "Sparse placement of electronic switching nodes for low blocking in translucent optical networks," *Journal of Optical Networking*, vol. 1, no.12 , pp. 424-441, 2002.