行動網路專線電路之調訂路由選擇

黃勇嘉
中華電信行動通信分公司高雄營運處

黃三益
中山大學資訊管理研究所

摘要

當行動網路的傳輸電路發生障礙而導致大批基地台倒台時，如果鄰近尚有能持續運作的基地台，那他們便能接替這些倒台基地台的任務，繼續提供附近地區用戶的行動通信接續服務，縮小因傳輸電路障礙而導致行動通信中斷的區域範圍。因此，行動通訊基地台的專線電路若能在障礙發生之前，預先作好路由分散配置，便能避免區域性的行動通信全面中斷，減少話務損失。當然，電路調訂人員若能在專線電路申租之時，即著手進行路由分散配置，更能提升效率，免去事後重覆調訂之工作負擔，對行動通信的維運有非常大的助益。

本研究採用圖形結構來模擬現行的行動網路、提出數種路由選擇策略，並訂定調訂路由的評估標準。一條好的調訂路由應滿足「分散績效」要儘可能高、「搜尋時間」要儘可能短，並儘可能堅持「最少中繼段」。最後我們利用電信公司現有的路由資料來評估各種路由選擇策略，根據實驗的結果我們提出在不同環境下該使用何種路由選擇策略的建議。

本論文所研究的問題是屬於如何改善電波涵蓋品質的範疇，但是目前從事這類研究領域的學者或專家所提出的文獻中，尚未發現從傳輸電路的角度來加以探討，可說是被忽略的部分。而本研究提出的調訂路由選擇模型能在不增加企業的電路設備投資，不增加維運人力成本，不影響行通設備的正常維運下，在大批倒台時達到最少的話務損失，這是本論文的最大貢獻。

關鍵字：基地台專線電路、理想調訂路由、路由分散配置、電波涵蓋品質、最短路徑演算法、A*演算法、行動網路

Route Assignment for Distributed Leased Lines in Mobile Cellular Network

Yung-Chia Huang
Kaohsiung Branch Office, Mobile Business Group, Chunghwa Telecom

San-Yih Hwang
Department of Information Management, Nationl Sun Yat-Sen University

Abstract

When a large number of base stations fail due to the breakdown of some transmission circuit in a mobile cellular network, base stations located in neighboring areas may take over those malfunctioned base stations and continue to provide the access service of mobile communications for users in surrounding areas, thereby reducing the area in which mobile communications are out of service. Therefore, if leased circuits in base stations could complete the route distribution configuration prior to the onset of malfunction, it could decrease the impact of circuit breakdown and traffic loss. Also, the efficiency would be improved if the circuit assignment personnel could complete the job when determining the leased lines for a newly installed base station, so as to avoiding reassignment in the future and subsequently reducing the cost.

In this study, we use a graph structure to represent the present mobile cellular network and develop various route-selection strategies. We define the "Optimal Route Assignment" for a newly constructed base station, which refers to the route assignment that causes the least disconnection area when any circuit in the network is broken. We show that A* algorithm can be used to achieve optimal route assignment. However, the computing the optimal route using the A* algorithm is time consuming. Measures such as computation time and least hops are incorporated in designing other heuristic strategies for route assignment. These strategies are parametric and we carried out experiments by adjusting and controlling parameters using real routing data.

The experimental results demonstrate that there is no single winner among the proposed strategies. We identify a number of best strategies for different operating regions.

Key words : Private Leased Circuit of Base Stations, Optimal Route Assignment, Distributed Route Configuration, Radio Coverage Quality, Shortest Path Algorithm, A* Algorithm, Mobile Cellular Network.

壹、緒論

當傳輸電路發生障礙而導致發生行通基地台大批倒台時，會造成話務損失、增加客戶的障礙申告量，進而影響營收和公司聲譽。如果這些倒台的基地台鄰近尚有能持續運作的基地台，那麼那些能持續運作的基地台就可接替這些倒台基地台的任務，繼續提供附近地區用戶的行動通信接續服務。對大部分的用戶而言，雖然通信的品質可能會差一點，但不會造成行動通信完全中斷。例如，考慮圖1左邊的範例傳輸電路和基地台配置，此時標示為黑色實心的相鄰基地台都由同一條傳輸電路來負責連結到行動交換機，當這條傳輸電路中斷時，其鄰近（標示成空心）的基地台電波無法有效地涵蓋其原本所收容基地台的服務區域，因而中間產生一塊相當大（標示成深灰色）的通信中斷區域。如果能將這些標示為黑色實心的相鄰基地台收容於不同的傳輸電路，如圖1右邊所示，則當傳輸電路同樣發生障礙時，造成的通信中斷區域便會縮小很多，甚至完全沒有。

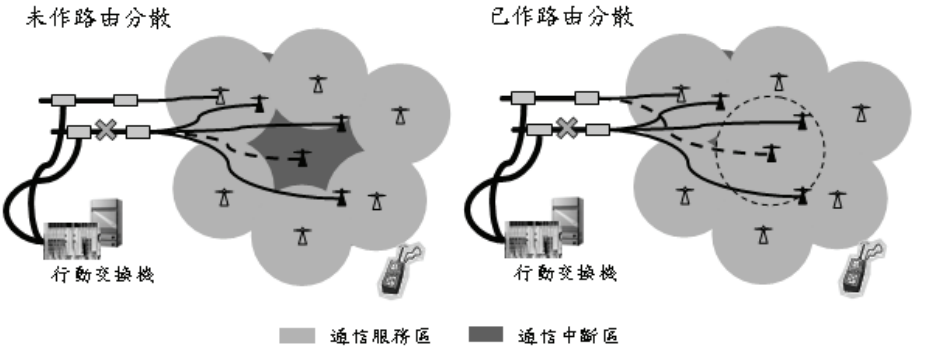


圖1：傳輸電路障礙時基地台電波涵蓋示意圖

以國內兼營固網與行動通信業務的中華電信來說。最初在籌建2G基地台時所使用的網路資源調訂及管理系統（Transport Network Resources Provisioning And Management System，簡稱PAMS系統）並沒有考慮傳輸電路的分散配置。於是行通基地台專線的配置產生了空間的區域性—同一個區域內的基地台專線經常集中收容在同一條傳輸電路上。以致後來當傳輸電路發生障礙，導致大批基地台倒台時，鄰近沒有能持續運作的基地台可接替其任務，致使該區域的行動通信全部中斷。

有鑑於此，中華電信於民國90年開始要求各區分公司必須對傳輸電路所收容的2G基地台E1專線作分散收容，並且連帶要求當時正積極籌建中的3G基地台預作專線路由分散配置之規畫。中華電信研究所也被要求在PAMS系統開發基地台專線路由分析之功能，來協助各區分公司專線電路調訂人員搜尋未作分散配置之傳輸電路，以利進行基地台專線路由分散配置的任務。

不過，目前PAMS系統並沒有針對新申租的基地台做符合分散期待的電路路由調訂。這是因為在調訂基地台專線時，每一段中繼傳輸路由都必須考慮是否會造成基地台

的空間區域性；在無法增加傳輸設備投資的狀況下，不可能有完全分散的電路路由，要搜尋具有較佳分散性質的電路路由則是非常困難而煩複的。目前電路調訂人員的一般作法是先將它忽略，留待日後作路由分散分析時再作調整。這樣的作法當然很缺乏作業效率，常常浪費許多時間在重複的電路調訂工作上。因此，當電路調訂人員在處理新申租基地台專線時，如何協助他們找到最符合分散期待的電路路由供其調訂，成為亟待解決的問題。

本研究的目的是建立理想調訂路由選擇模型，以協助專線電路調訂人員作業，針對新申租的基地台做出符合分散期待且有效率的電路路由調訂，進而保障行動網路服務品質，減少發生傳輸障礙時的話務損失與客戶障礙申告量。

貳、文獻探討

一、行動網路服務品質的領域

專線路由分散的研究是屬於基地台電波涵蓋品質的範疇，是行動網路服務品質領域的一環。廣義來說，「服務品質」涵蓋了一般業務方面的品質，以及技術層次方面的網路品質(Network Performance, NP)，這兩者都會直接或間接的影響到用戶所感受到的品質。其中業務品質雖然可以透過管理制度方面的調整而獲得提昇，但仍然是需要有良好的網路品質作後盾，才可以讓整體服務品質確實得到改善（范文駿等，2005）。

行通基地台電波涵蓋品質決定於基地台發射的電磁波所能有效的涵蓋範圍，而且又受到天線的高度、方位角、傾角、功率大小、附近的地形建物等諸多直接與間接的因素影響（官振鳴，2002）。當一個行動用戶在交談時，行動手機是經由無線電介面與一基地台連結。如果行動用戶移動到另一基地台的涵蓋區內，那麼與舊基地台的無線電連結就會中斷。為了繼續通話，就需要與新基地台建立連結，這個過程叫做自動連結轉換(Automatic Link Transfer, ALT)，或交遞(Handoff或Handover)（林一平，1999）。為了能夠執行交遞，確保移動中的用戶通信不中斷，每個細胞的服務涵蓋區域必須與鄰近的細胞維持一定的重疊區。隨著用戶的移動，訊號也隨之消長，服務涵蓋區重疊的細胞會在維持相當的通信品質條件下作交遞[1]。因此，行通基地台的實際服務區域會小於有效的服務涵蓋區域，而這也是當某座基地台倒台時，鄰近的基地台能夠及時接替繼續提供行動通信接續服務的主要原因。

一般人對行動網路服務品質的認知，其實是指基地台的電波涵蓋品質；以維運的角度來看，行動通信的品質與電波涵蓋的品質有密切的關係。改善電波涵蓋品質也有一些方法，比如：在作基地台（細胞）規劃時，須考慮系統成本與電波涵蓋率的均衡；基地台倒台時，要求維運人員在時限內完成障礙排除以儘速恢復電波涵蓋的缺口；在實施網路優化作業時，可對頻道阻塞率、語音中斷率、交遞失敗率等品質參數做調整；在處理

[1] 對GSM系統而言，原則上當相鄰的兩個細胞訊號強度相差4db時，就會觸發交遞行為。

客訴涵蓋不良申告時，也常用增設微細胞基地台、加裝增波器(Repeater)或變更基地台細胞組態等來維持電波涵蓋區域的完整性（資料來源：中華電信行通ISO文件）。

二、現行專線路由分散的作法

從上一小節的探討裡，我們可以發現：現行行動網路主要的維護措施都集中在行動通信設備，對於傳輸電路支援電波涵蓋的部分，則鮮少被探討。而且在目前的文獻裡，我們也尚未發現從傳輸電路的角度來探討電波涵蓋規劃的問題；此外，根據筆者在網路論壇的調查，目前國內外行動通信業者對中繼線故障造成的大批倒台的因應措施，都是集中在傳輸電路的保護或備份，但是在無法避免傳輸電路發生障礙的情形下，除了消極的派遣行動通信車之外，沒有更積極有效的做法。本研究即企圖將這塊缺少的拼圖補上。

行動網路上的設備除了行動通信設備之外，還包括傳輸系統之網路元件。以國內行動通信的龍頭企業中華電信來說，其傳輸系統屬於同步數位階層(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)標準規範，主要的網路元件有三：（陳正元，2001）

1. 終端多工機(Terminal Multiplexer, TM)，係使用在網路末端的網路元件，它一端為高速介面，而另一端則為低速介面。
2. 塞取多工機(Add-Drop Multiplexer, ADM)，係使用在網路中間的網路元件，它具有東向、西向兩個高速介面及一個低速介面，它可以把由東向西或由西向東傳送之STM-N (N = 1、4、16、64)信號中的一部分低速信號經由低速介面輸出，也可以把一部分低速信號經由低速介面加入由東向西或由西向東傳送的STM-N信號中。塞取多工機的功能類似高速公路的交流道，車輛可在交流道之車道上直行，也可以在交流道下高速公路，亦可以在交流道上高速公路。
3. 數位交接設備(Digital Cross Connect system, DXC, DSC)，是一種兼具多工、配線、保護/復舊(Restoration)、監控和網路管理的多功能傳輸設備，它係傳輸系統的交換機，其功能類似貨櫃轉運站。

對於基地台專線電路的分散作法，中華電信將分散的目標電路鎖定在基地台端的STM1電路—實施交錯分散；而在專線電路的中繼段部分是依靠傳輸設備本身的保護功能，如圖2所示。

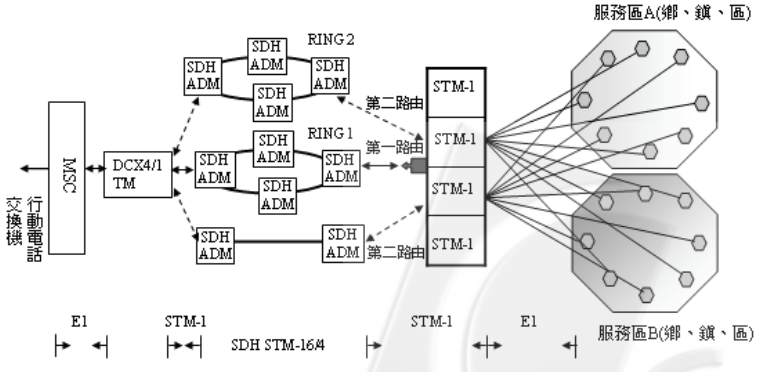


圖2：中華電信對行動網路專線路由分散示意圖

在中華電信PAMS系統中的「行通基地台專線路由分析」對交錯分散策略使用的是基地台分群註記法，也就是將基地台的屬性依所處的位置交錯區分為A、B兩群，相鄰的基地台盡量屬於不同群，如圖3所示。如果一條STM1電路僅收容A群或B群基地台，則稱這條STM1電路符合交錯分散原則，如圖3中X電路所示，它收容了4個B群基地台。

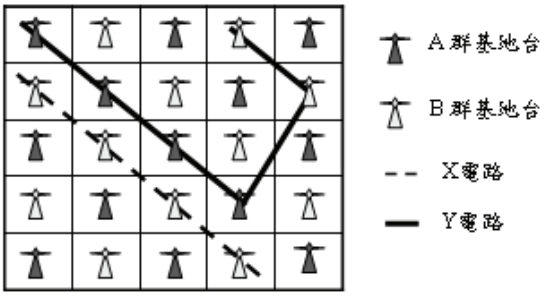


圖3：中華電信PAMS系統實現交錯分散示意圖

不過，不符合分群交錯分散原則的STM1電路也不見得不好，因為也有可能它所收容的基地台也不相鄰。如圖3中Y電路所示，它收容了4個A群基地台及2個B群基地台，由於A群與B群基地台中間還隔著其他STM1收容的基地台，當該電路斷線時，也不會造成大塊通信中斷區域。PAMS系統採取如此保守的作法，雖然會浪費一些可供分散的電路資源，但是至少保證行動通信不致造成大塊中斷區域。不過這種作法在電路資源很豐富時或許可行，但一旦基地台愈來愈多、電路資源相對減少時，便很可能無法保證每一條STM1電路都符合交錯分散原則。

三、最短徑演算法

當新增一個基地台時，電路調訂人員需要為它找出連接網路元件的電路（稱為路由），用來連結此基地台到目標交換機。尋找一條好的路由時可以應用最短路徑演算法（將在第肆節說明），以下我們即簡單說明最短路徑演算法。

（一）Dijkstra演算法

最短路徑演算法有很多種，最有名的是Dijkstra演算法，是Edsger Wybe Dijkstra於1959年所提出的。目前大部分學者提出的解決最短路徑相關問題的演算法可以說都是以它為基礎所衍生的。

Dijkstra演算法屬於廣度優先搜尋策略 (Breadth First Search, BFS)，它的輸入包含了一個有（非負數）權重的有向圖G，以及一個起點s，目的是找出s到所有其他點的最短路徑長度。初始時，起點s的路徑長度值被設為0，同時把所有其他節點v的路徑長度均設為無窮大，表示我們不知道任何通向這些節點的路徑。演算時的操作模式是路段(edge)的拓展，同時一直保留起點s到所通過的每個節點v的已知最短路徑長度，直到演算法結束。Dijkstra演算法的虛擬碼如圖4所示。（資料來源：維基百科，Dijkstra演算法）

```
 1  function Dijkstra(G, w, s)
 2      for each vertex v in V[G]
 3            d[v] := infinity
 4            previous[v] := undefined
 5      d[s] := 0
 6      Q := V[G]
 7      while Q is not an empty set
 8            u := Extract_Min(Q)
 9            for each edge (u,v) outgoing from u
10                  if d[u] + w(u,v) < d[v]
11                        d[v] := d[u] + w(u,v)
12                        previous[v] := u
```

圖4：Dijkstra演算法的虛擬碼（資料來源：維基百科網站）

（二）A* 演算法

Dijkstra演算法的優點是理論簡單易懂，而且結構嚴謹，所求得的路徑保證是最短的路徑，但是缺點是搜尋速度慢，如果應用在一個具有數千甚至上萬個節點的搜尋區域上，顯然不是很理想。相較之下，A* 演算法的搜尋方式就有效率多了；主要原因是它有一個探索式的估算 (Heuristic Estimate)函式來判斷目標點的方向，並將搜尋的方向往目標點移動，所以它可以減少造訪一些沒有用的節點，以加快搜尋的速度。

A* 演算法最早是由Peter Hart, Nils J. Nilsson和Bertram Raphael 在1968年所提出的。在他們的文件中稱之為A演算法；但是當使用這個演算法時，若能經由適當的探索而產生最佳的表現時，則進一步叫做A*。（資料來源：維基百科，A* 演算法）

目前A* 演算法較常應用在電腦遊戲、車用GPS衛星導航（張其善等，2001）與機器人的研究領域。它的理論基礎也是出於Dijkstra演算法，演算過程與Dijkstra演算法極為相似，主要差異只是加上一個由探索式估算函式所計算出的h值作為判斷下一個節點置入封閉列表的依據，如下所示。

$f(n) := g(n) + h(n)$，為目前節點n的評價分數

$g(n)$:= 從起點到目前節點n的最佳距離（相當於Dijkstra演算法的$d(n)$）

$h(n)$:= 預測目前節點n到終點的距離

$h(n)$設計的好壞，直接影響A演算法是否能稱之為A* 演算法。要成為A* 演算法的充分條件是：

1. 起點到終點的最短路徑存在。
2. 問題域是有限的。
3. 所有路段(Edge)上的權值≥ 0。
4. $h(n) \le h^*(n)$，$h^*(n)$為目前節點n到終點的實際最短距離。

當此四個條件都滿足時，A* 演算法一定能夠找到最短路徑(Nils J. Nilsson, 1998)。對於一個路徑搜尋問題，顯然條件1, 2, 3都是很容易滿足的，但是條件4的$h(n) \le h^*(n)$是需要精心設計的，而且$h(n)$距離$h^*(n)$不能相差太遠，否則會影響演算法的效率。

A* 演算法的虛擬碼如圖5所示，其中q為開放列表（相當於Dijkstra演算法在集合Q內d值不為無限大的節點集合），並假設會自動對列表內的節點以f值由小至大作排序。

```
function A*(start,goal)
    var closed := the empty set
    var q := make_queue(path(start))
    while q is not empty
        var p := remove_first(q)
        var x := the last node of p
        if x in closed
            continue
        if x = goal
            return p
        add x to closed
        foreach y in successors(p)
            enqueue(q, y)
    return failure
```

圖5：A* 演算法的虛擬碼（資料來源：維基百科網站）

參、問題描述

一、 理想調訂路由的定義

本研究的主要目的是要建立理想調訂路由的選擇模型，因此在進行研究之前，我們先對「理想的調訂路由」下一個定義：

「當行動網路裡的新基地台需要設定其專線電路時，資訊系統從現存基地台和交換機的眾多路由資訊當中，經過運算、比較之後，能即時地提供電路調訂人員一條路由以執行電路調訂作業，並使得電路故障時所造成的通訊中斷區域盡可能小。」

這裡我們用「分散成本」來表示傳輸路由中斷後所造成的涵蓋面積的減少量。如圖6所示，當Circuit A發生障礙時，其行動通信中斷區域（以灰色標示）的面積即為Circuit A的分散成本。值得注意的是，當新增一個基地台時，其周遭基地台的電波涵蓋範圍一般會縮小以降低維運成本。此時，若收容此新增基地台某一電路發生故障時，其分散成本可能較未新增基地台前為高。也就是說，該電路的分散成本增加了。至於分散成本的計算方式，將在本節第二小節說明。

基於分散成本，我們提出「最佳分散路由」，其定義為：當採用此路由充當新基地台的專線電路後，若行動網路發生傳輸障礙時，其分散成本增加最少，亦即此路由的任一電路中斷所造成的通信中斷區域增加最少。其數學式如下：

$$OptimalDistributributedRoute = \arg \min_{r \text{ is a route}} AddedNetworkCost(r)，$$

其中*AddedNetworkCost(r)*指的是替一個新的基地台專線電路選定傳輸路由r後，網路所增加的分散成本。

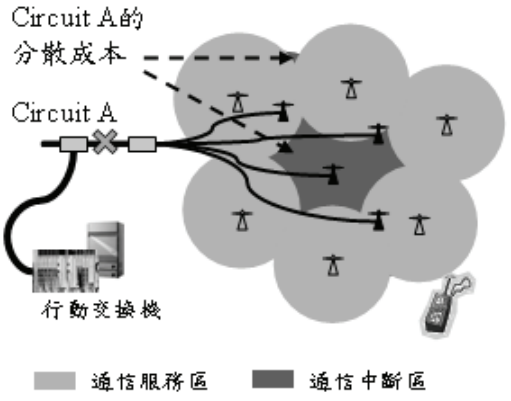


圖6：電路分散成本示意圖

當然，若網路中存在的最佳分散路由不只一條時，理想的調訂路由應是其中中繼段數最少的路由。這是為了提高專線的傳輸品質，減少該專線的障礙發生率而作的要求。因為傳輸路由的中繼段數越多，網路傳輸訊號界接的失真率和衰減率越高，而該路由發生障礙的機率也越高。

此外，理想的調訂路由的搜尋時間不可太長，必須是在電路調訂人員所能接受的時間範圍內。但是當搜尋時間超出電路調訂人員所能接受的範圍時，為了使電路調訂作業能順利進行，此時應該考慮是否接受分散成本增加較多的路由，來縮短搜尋時間。也就是說，如果資訊系統無法提供最佳分散路由，則應退而求其次，儘可能在電路調訂人員所能接受的時間範圍內，提供儘可能接近最佳分散路由的「理想調訂路由」。

二、網路分散成本的估算

在搜尋最佳或理想分散路由的過程中，我們必須對網路的分散成本作測量。但是在實務上，我們無法直接對網路的分散成本作精準的測量。因為網路的傳輸電路眾多，除了供行通基地台專線使用外，尚有其它各種不同類型的用途和用戶，因此我們無法對每一條傳輸電路直接作中斷測量。即使是在發生電路障礙期間，使用儀器去作測量亦有相當的難度；不但費時費力，亦不符合經濟效益。因此，在本研究中，我們採用間接的估算方式。

所謂間接的估算方式是先測量每個基地台的服務涵蓋範圍，再從每一傳輸電路所收容的基地台涵蓋範圍扣除鄰近基地台的涵蓋範圍而得到該傳輸電路的分散成本。而想得到基地台的真正的涵蓋範圍有兩種方法：一是透過實地的測量，二是利用傳輸模型進行預測。在實務上，我們如欲對每個基地台進行涵蓋範圍的測量同樣有相當的難度，因此採用傳輸模型進行預測則較為可行。除非有特殊用途之必要，一般電信工程人員在測試某個基地台的接收訊號時，都是以基地台無線電所能發射之電波頻率為半徑計算其涵蓋範圍（周佑霖，2006）。當然，對基地台涵蓋範圍的測量越精確，對網路分散成本的估算也會越精確，而對最佳分散路由的搜尋準確度也會越高。

由於本研究的目的在建立理想調訂路由的選擇模型，重點不在基地台涵蓋範圍的精確測量，因此本研究採用的網路分散成本的估算方式是電波涵蓋法，其涵蓋範圍是依據以下的基本假設擬訂的：

1. 基地台的有效服務區域均為理想的圓形區域。
2. 基地台的有效服務區域半徑等於與各鄰近基地台距離的算術平均值。

依據以上的假設，我們可以利用電波涵蓋法估算行動網路的分散成本，其方法如下：

1. 我們先計算網路上每一段傳輸電路(*circuit*)的分散成本。在作法上，我們可以將基地台的服務區域畫分為許多個很小很小的格子(*grid*)以便於測量。首先，我們必須先蒐集一傳輸電路*c*所收容的所有基地台（也就是那些基地台的訊號傳輸必須經過*c*）。其中任一個基地台*b*的有效服務區域(*ServiceArea*)可用以下的數學式計算得來。

Covered(b) := 基地台*b*的電波涵蓋區域內的格子

Area(g) := 格子g的涵蓋面積

$$ServiceArea(b) = \sum_{g \in Covered(b)} Area(g)$$

其次，蒐集基地台*b*的鄰近基地台，令這些基地台所成的集合為*Neighbor(b)*，然後檢查*b*所涵蓋的格子是否被*Neighbor(b)*裡某一個基地台所涵蓋，涵蓋的部分則必須扣除。剩下沒有被*Neighbor(b)*裡任一個基地台所涵蓋格子的就是中斷區域。按這樣的方式算出所有*c*所收容的基地台的中斷區域格子，並將這些格子的面積加總，即得到*c*的分散成本*(CircuitCost)*。

以數學式表示為：

N := 目前的行動網路

Base(c) := 傳輸電路*c*收容的基地台所成的集合

Neighbor(b) := 基地台*b*的鄰近基地台所成的集合

UnCovered(c) =

$$\{g \mid \exists b \in Base(c), g \in Covered(b), \\ \forall b', b' \in Neighbor(b) - Base(c), g \notin Covered(b')\}$$

$$CircuitCost(c, N) = \sum_{g \in UnCovered(c)} Area(g)$$

2. 同理，假設在每一段傳輸電路故障率均相同（令為p）的情況下，整個行動網路*N*的期望通信中斷區域面積為

$$p \times \sum_{c \text{ is a circuit in the Network}} CircuitCost(c, N)$$

因此，我們定義行動網路*N*的分散成本*NetworkCost(N)*如下：

$$NetworkCost(N) = \sum_{c \text{ is a circuit in the Network}} CircuitCost(c, N)$$

三、行動網路的圖形結構

在行動網路中，為了方便進行理想調訂路由的搜尋與選擇模型的建立，我們可以用圖形結構$G = (V, E)$來模擬行動網路。其中節點集合V為SDH裡的網路元件，如終端多工機、塞取多工機、數位交換設備等，路段集合E則為：

1. 基地台至路徑終端設備(Path Terminating Equipment , PTE)的傳輸電路，為E1電路。PTE就是TM設備。
2. 多工區段，傳輸網路中任兩個網路元件之間的電路，為STM-N電路(N = 1、4、16、64)。
3. 路徑終端設備至交換機的傳輸電路，為E1電路。

行動網路SDH傳輸架構（高東海，2006），與相對映之圖形結構如圖7所示。

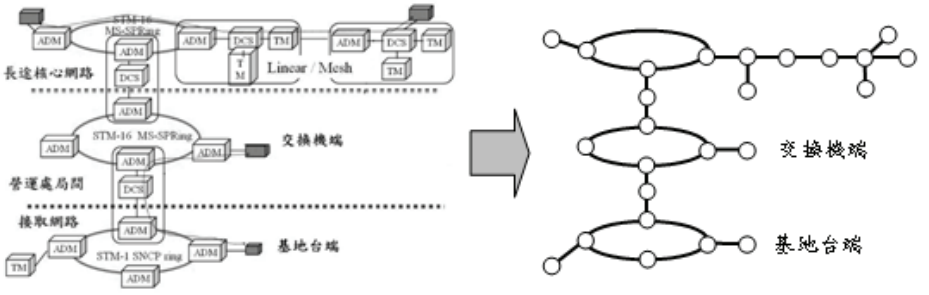


圖7：中華電信行動網路之SDH傳輸架構對映圖形結構

路段上的權重是進行圖形結構演算的主要運算元。由於在行動網路搜尋理想調訂路由的過程中，我們必須對傳輸電路上的分散成本作測量上；為簡化演算時的複雜度，可將分散成本對映至路段上的權重。

事實上，權重的對映與問題的解決策略有很大的關係，我們在第肆節對路由選擇策略之探討中會再重新定義權重的對映。

四、難以實現的一般策略

依前面之描述，在每一段傳輸電路故障率相同的假設下，可用窮舉法來找出最佳分散路由，其演算過程如下：

1. 從行動網路的圖形結構搜尋出此新增基地台的每一條可能專線路由。
2. 計算每一條路由對網路所增加的成本，亦即將新增後的網路分散成本減去新增前的成本。
3. 比較每一條路由在網路上所增加的成本與中繼段數，成本增加最少且中繼段數相對少者即為最佳分散路由。

以數學式表示如下：

Route := 行動網路上，新增基地台每一條可能的專線路由

N_b := 新增基地台前的行動網路

N_r := 新增基地台且為其選定傳輸路由r後的行動網路，$r \in Route$

$$OptimalDistributedRoute = \arg \min_{r \text{ is a route}} AddedNetworkCost(r)$$

其中$AddedNetworkCost(r) = NetworkCost(N_r) - NetworkCost(N_b)$

但是，事實上這個策略難以實現，因為從圖型結構搜尋每一條路由的複雜度為$O(2^n)$，而n大於10000個節點[2]。接著再比較每一條路由網路所增加的分散成本與中繼段數，其所耗費的搜尋時間將難以估計；不可能讓電路調訂人員接受。因此我們必須設計其它的實現策略。

肆、路由選擇策略

在本節中，我們將討論如何實現最佳分散路由的搜尋策略以及探索式路由搜尋策略，並且分別詳述這兩種策略的操作以及加速運算速度的方法。

一、最佳式路由搜尋 (Optimal Search)

（一）策略構想

每一條路由增加的成本為新增後的分散成本減去新增前的分散成本。不過，新增一路由後對網路分散成本有改變的部分，僅該路由以及新增台之鄰近台的專線路由；因此，在每一段傳輸電路故障率相同的假設下，我們計算網路增加的分散成本時，只要加總這些路由的中繼段電路所增加的分散成本即可。亦即實現最佳分散路由策略的公式可以改寫如下：

$$OptimalDistributedRoute = \arg \min_{r \text{ is a route}} AddedNetworkCost(r)$$

其中$AddedNetworkCost(r) = \sum_{c \in r} AddedCircuitCost(c, N_r) + \sum_{c' \in NeighborRoute,\, c' \notin r} AddedCircuitCost(c', N_r)$

$AddedCircuitCost(c, N_r) := CircuitCost(c, N_r) - CircuitCost(c, N_b)$

$NeighborRoute$:= 鄰近基地台的專線路由集合

（二）策略描述與A* 演算法的證明

Dijkstra演算法並不適合作為搜尋路由的方法，因為Dijkstra演算法是找出權重總和最短的路段，而其權值必須同時考慮新增台與鄰近台的專線路由對網路分散成本的變化，因此無法獨立設定。不過我們發現：

[2] 中華電信全區行動網路節點數大於10000。

1. 在搜尋最佳分散路由的過程中，除了新增台專線本身路由會改變之外，鄰近台專線路由是固定不變的。
2. 鄰近台專線路由的某一中繼段若被用來收容新增基地台，則其新增分散成本會更高。

因此，我們只要將新增台專線路由與鄰近台專線路由的中繼段分散成本分開處理，再賦予探索式估算函式新的定義，就可以使用A* 演算法作為路由搜尋引擎來搜尋最佳分散路由。相關評價函式重新定義如下：

f(n) := g(n) + h(n)，為目前節點n的評價分數，代表從起點（基地台）經過目前節點n（該路徑以r_n來表示）至終點（交換機），網路所增加的分散成本，以f(n)= *AddedNetworkCost*(r_n)來表示。

g(n) := 從起點到目前節點n的路由r_n所增加的網路分散成本，亦即

$$g(n) = \sum_{c \in r_n} AddedCirciutCost(c, N_{r_n})$$

h(n) := 新增r_n路徑後，鄰近台的專線路由所增加的網路分散成本，亦即

$$h(n) = \sum_{c' \in NeighborRoute, c' \notin r_n} AddedCircuitCost(c', N_{r_n})$$

如此，當A* 演算法完成搜尋的時候，我們可以得到f值最少的路由，也就是網路所增加的分散成本最少的路由—亦即最佳分散路由。不過我們必須先證明我們使用的路由搜尋引擎確實是A* 演算法，可以得到最佳解，而不僅僅是A演算法。

Lemma 1：h(n) ≤ h*(n)

假設r_n := 為新增基地台選定的部分路徑（由起點至節點n）

r := 為新增基地台選定的全部路徑（由起點經節點n至終點）

因此，N_{r_n} := 新增r_n路徑後的行動網路

N_r:= 新增r路徑後的行動網路

在搜尋的過程中，相關傳輸電路集合的定義如下：

$R(n)$:= r_n所有中繼段電路所成的集合。

NC := 鄰近台專線路由的所有中繼段電路所成的集合。

$R'(n)$:= $r - r_n$的中繼段電路所成的集合。

其中$R(n)$、NC和$R'(n)$間的集合包含關係可以圖8來描述。

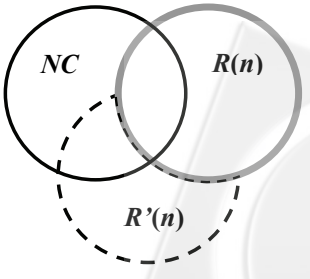


圖8：A* 演算法搜尋過程示意圖

由圖8可得到以下的推論：

考慮 ，有兩種狀況：

Case 1: ，也就是在經過n的最佳專線路由沒有經過c'，

此時表示c'沒有收容該新增的基地台，因此

Case 2: ，也就是在經過n的最佳專線路由有經過c'，

此時表示c'收容的基地台在N_t裡比在 多一個，即新增的基地台；因此當c'發生障礙時，無法涵蓋的面積只可能變大，也就是

綜合所述，我們可以推論

故$h(n) \le h^*(n)$。

Theorem 1：我們使用的路由搜尋引擎確實是A* 演算法

要證明路由搜尋引擎是否為A* 演算法，必須檢查是否符合A* 演算法的四個充分條件：

1. 起點到終點的最佳分散路由存在。
2. 行動網路的範圍是有限的。
3. 每一中繼段電路的增加分散成本皆不為負。
4. $h(n) \le h^*(n)$。

其中條件1～3十分明顯，且由Lemma 1可知第4個條件亦滿足，故得證。

二、探索式路由搜尋 (Heuristic Search)

在上小節中，實現最佳分散路由的搜尋，與一般策略窮舉法相較，雖然已大幅改進運算的效率，但是因為必須同時考慮新增台專線路由與鄰近台專線路由增加的分散成本，搜尋時間還是很長，恐無法讓所有電路調訂人員接受。在本小節中，我們將討論探索式（Heuristics）的搜尋策略—非最佳分散路由的搜尋，但是可以縮短路由的搜尋時間。

欲提升路由搜尋的運算速度，可以控制影響搜尋時間的關鍵參數來實現，而每個關鍵參數的控制都可以視為一種新的「演算法」，因此本策略包含數種演算法，每一種演算法的分散績效不盡相同；藉由參數的控制，我們可以選擇分散績效好，而且搜尋時間

又能讓人滿意的演算法來建立理想調訂路由的選擇模型。以下我們將列舉主要的關鍵參數，並說明操控的方式。

（一）權重設定

我們所採用的探索式（Heuristics）的搜尋策略是圖形的最短路徑演算法，因此必須先決定行動網路上所有中繼段電路的權重。一中繼段電路上的權重是用來估算採用該中繼段電路所增加的分散成本。在搜尋理想調訂路由的過程中，最耗費時間的當屬對電路分散成本之估算。方法越精準，其計算過程必然越複雜，搜尋時間也必然越長，但是所求得的路由則必然越接近最佳分散路由。因此，我們依照估算的精準度列舉三種電路分散成本的估算方法作為參數之操控，分述如下：

1. 分群註記法—中華電信現行的分散策略，低估算精準度。

   分群註記法在決定一中繼段電路的分散成本時，是根據該中繼段電路所收容的A群基地台數量和B群基地台數量來決定。從直觀上來說，如果一中繼段電路所收容的基地台大部分是同群的，則該中繼段電路的分散成本就較低。

   使用此估算方法時，令c為一中繼段電路，c的權重$AddedCost(c)$的數學式表示式如下：

   $$AddedCost(c) = min(|Base_A(c,N_c)|, |Base_B(c,N_c)|) - min(|Base_A(c,N_b)|, |Base_B(c,N_b)|)$$

   其中$Base_A(c,N_b)$（$Base_B(c,N_b)$）表示c在新增基地台前所收容的A（B）群基地台所成的集合；$Base_A(c,N_c)$)（$Base_B(c,N_c)$）則表示c在收容新增基地台後，其A（B）群基地台所成的集合。

   由此式，我們可以看出c的權重值不是1（當新增台與c所收容的大部份基地台不同群時），便是零（當新增台與c所收容的大部份基地台同群時）。

2. 鄰台同路法—中估算精準度。

   鄰台同路法在決定一中繼段電路的權重時，是根據該中繼段電路所收容的基地台的鄰近程度來決定。從直觀上來說，如果一中繼段電路所收容的基地台很多是相鄰的，則該中繼段電路的權重就較高。

   使用此估算方法時，令c為一中繼段電路，c的權重$AddedCost(c)$的數學式表示式如下：

   $$AddedCost(c) = \sum_{b \in Base(c,N_c)} \frac{|Neighbor(b,N_c) \cap Base(c,N_c)|}{|Neighbor(b,N_c)|} - \sum_{b \in Base(c,N_b)} \frac{|Neighbor(b,N_b) \cap Base(c,N_b)|}{|Neighbor(b,N_b)|}$$

   其中$Base(c,N_b)$（$Base(c,N_C)$）表示c在收容新增台前（後）所收容的基地台所成的集合，$Neighbor(b,N_b)$（$Neighbor(b,N_c)$）則表示c在收容新增台前（後）基地台b的鄰近基地台所成的集合。

3. 電波涵蓋法—高估算精準度。

   相關基本假設與測量方法請參考第參節說明。此處的中繼段電路權重可應用下式

求得：

$AddedCost(c) = CircuitCost(c, N_c) - CircuitCost(c, N_b)$

其中N_b（N_c）為c在收容新增台前（後）的行動網路。

（二）最短中繼段之堅持

利用最短路徑演算法可以找到一條最短路由，但是如果網路上有兩條（含）以上最短路由存在時，最短路徑演算法並不保證找到的是最少中繼段的最短路由。

想要找到最少中繼段的最短路由，在權重(Weight)的設計上便必須與非最少中繼段的最短路由有所區隔。區隔的方法是在權重的值再加上代表中繼段的權值，那麼利用最短路徑演算法搜尋時，我們就可以得到最少中繼段的最佳路由。不過必須注意的是：額外加入的中繼段權值不能太大，否則可能會影響搜尋最佳路由的正確性。為了避免這種狀況，計算權重的值時，我們可以將*Cost*乘以100，中繼段權值設為1；亦即

$Weight(c) = AddedCircuitCost(c, N_r) * 100 + 1$

這樣一來，除非最佳路由的中繼段數超過100，否則是不會影響最短路由的正確性。而實務上，這種情形是絕不會發生的。

（三）後續處理

路由選擇的處理方式也是決定運算速度的關鍵因素。如前面說明，在路由的搜尋過程中，最耗費時間的是對電路分散成本之估算。但是如果後續處理設計得宜，可以減少對電路分散成本之估算次數，從而縮短搜尋時間。以下我們提出三種處理方式，分述如下：

1. 成本計算優先

假設鄰近台專線路由的分散成本對搜尋最佳分散路由的影響不大，那麼如果我們忽略鄰近台專線路由，僅考慮搜尋新增台專線本身路由的最短路徑，則不但可以縮短搜尋時間，還可以獲得分散績效不錯的路由。因此，我們設計以下的後續處理：

「以最短路徑演算法作為路由搜尋引擎，從起點開始，先計算至周圍節點的權重(Weight)，同時記錄各節點至起點的最短路徑，以距離起點最近的路段優先，逐漸擴展至找到目標終點為止。在找到終點的同時，我們可以從終點對起點的最短路徑之記錄得到最佳路由。」

2. 目標搜尋優先

在網路上，我們雖然無法找到從起點到終點所有的路由，再比較找出路徑最短的路由，但是找到部分路由作比較還是可以的。事實上，行動網路的拓樸比較像階層式的樹狀結構，所以我們可以假設從基地台到交換機的最佳分散路由與最少中繼段的路由不會相差太遠，如果我們先快速地找到中繼段較少的數條路由，再比較出當中分散成本增加最少的路由，那麼同樣可以縮短搜尋時間，也可以獲得分散績效不錯的路由。因此，我們設計以下的後續處理：

「利用廣度優先搜尋法進行目標搜尋，中繼段電路的權值設為1，藉以操控路由的中

繼段數作為參數來尋找中繼段數小於或等於操控值的路由；這個操控值是鬆散的，倘若在設定的操控值內找不到一條路由，我們可對操控值稍稍放寬—將其值加1，再繼續搜尋，直到至少找到一條路由為止的。之後，再比較每一條路由所增加的分散成本，成本增加最少者即為最佳路由。」

在此項處理中，我們可以將搜尋到的路由先依中繼段數作排序，再從中繼段數少者開始比較分散成本的增加量；從比較中我們可以直接獲得最少中繼段的最佳路由。為了加快搜尋的速度，在作路由比較之時我們可以加入以下的技巧：

（1）先檢查此次搜尋到的路由是否只有一條，如果是，則不必再計算它增加多少網路分散成本，直接將它視為最佳路由。

（2）若搜尋到的路由不只一條，而且比較時發現某條路由網路分散成本的增加量為零，則不必再計算其它的路由，可直接將它當作最佳路由。

3. 二次路由搜尋

在前項處理進行路由分散成本比較時，倘若搜尋到的路由數很多時，其比較的速度可能差強人意。為改善這種情形，因此我們設計以下的後續處理：

「同樣利用廣度優先搜尋法以及鬆散的中繼段數操控進行目標搜尋，將搜尋到的路由上的節點當作子圖形(subGraph)，再用最短路徑演算法從子圖形搜尋最佳路由。」

本項處理可說是前兩項「成本計算優先」與「目標搜尋優先」的綜合體：

第一次搜尋時，是先從起點至終點，搜尋符合設定操控值的路由，這與「目標搜尋優先」相同。每找到一條路由，我們便將它的節點儲存下來，直到完成搜尋為止。

第二次搜尋時，刪除重複儲存的節點之後，將剩餘的節點當作子圖形，再以最短路徑演算法進行搜尋，這與「成本計算優先」相同。

伍、效能評估

由於本研究的目的在建立理想調訂路由的選擇模型，目的是配合實際的電路調訂作業。因此本研究採用電信公司現有的基地台路由配置資料來進行實驗與評估。

一、實驗設定

（一）資料蒐集和實驗方法

為求模擬的新增專線電路儘可能符合電路調訂作業的情境，我們採用系統抽樣法，從中華電信的現行南區2G基地台專線電路，總計2233條；依編號排序後，每隔10條抽出1條專線充當新增專線之樣本，計209條[3]，依照第肆節說明的路由選擇策略進行實驗。

在實驗中，我們先將這209條基地台專線逐一假設不存在，而視其為新增基地台專

[3] 對於有些不須經過高階中繼的專線路由，由於沒有實驗的必要，為避免這類專線影響演算時對搜尋時間的量測，因此我們在抽樣前事先予以排除。

線，並修正相關鄰近台服務涵蓋半徑的參數之後，再進行搜尋最佳路由。對於一新增基地台的鄰近台的資訊，我們是從現行的資料分析而得。具體說來，本研究實驗主要之資料來源有三：

1. 基地台資料：來源為中華電信行動電話基地台資訊系統 (Mobile Telecommunication Base Station Information System, MBASIS)。
2. 鄰近基地台資料：來源為中華電信行動通信網路話務資訊系統 (Traffice Information System for Mobile Network, TIME)
3. 專線電路資料：來源為中華電信南區PAMS系統。

（二）績效評量指標

路由搜尋演算法的評量指標包括所需的搜尋時間和所找出路由的分散績效。分散績效的評量方式是以最佳分散路由與該演算法所計算出來的路由之分散成本增加量比值為標準。具體說來，令基地台b的最佳分散路由為$r_{O,b}$，而演算法A為基地台b所計算出來的路由為$r_{A,b}$，則演算法A的分散績效 (*Distributed Performance, DP*) 定義如下：

$$DP(A) = \underset{b \text{ is a base station}}{avg} \frac{AddedNetworkCost(r_{O,b})}{AddedNetworkCost(r_{A,b})} \times 100\%$$

顯然，$0 < DP(A) \le 1$。

二、實驗結果

（一）實驗一

最佳式路由搜尋與探索式成本計算優先搜尋都是採用典型的最短路徑演算法，所不同者僅是在於是否考慮鄰近台分散成本的影響。因此在實驗中，我們先對這兩種搜尋法搭配權重設定進行實驗，評估搜尋時間與分散績效；實驗結果如圖9～11所示。

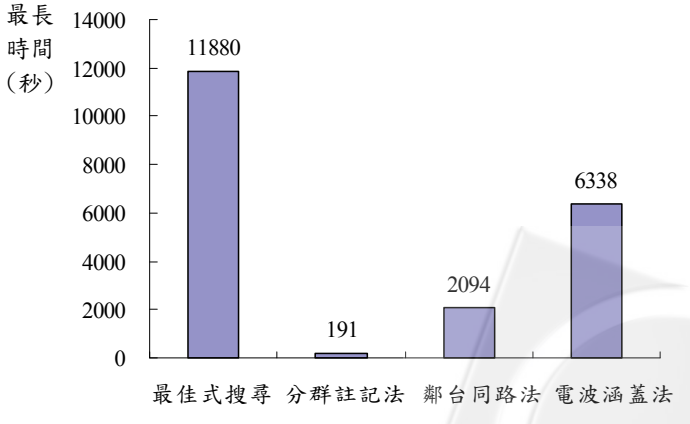


圖9：最佳式路由搜尋與探索式成本計算優先搜尋之最長搜尋時間

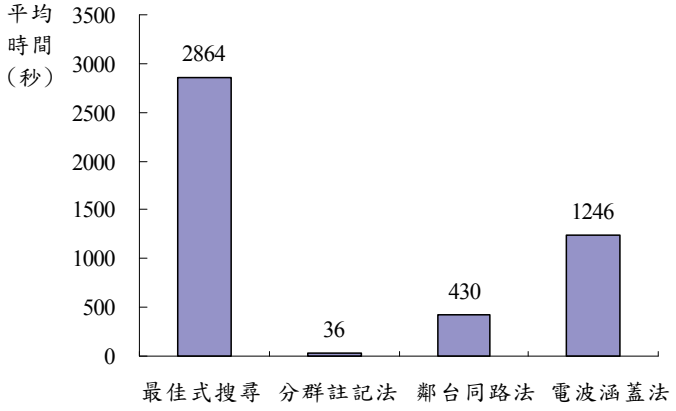


圖10：最佳式路由搜尋與探索式成本計算優先搜尋之平均搜尋時間

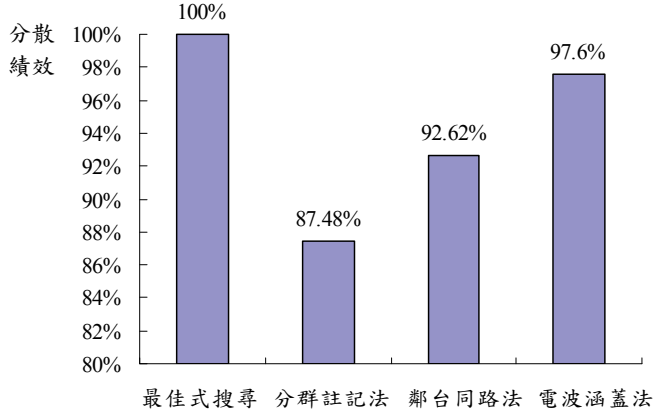


圖11：最佳式路由搜尋與探索式成本計算優先搜尋之分散績效

我們可以分析最佳式路由搜尋的時間複雜度為O(N + nlogn)，其中N為鄰近台專線路由的節點數；而探索式成本計算優先搜尋的時間複雜度為O(nlogn)，較之一般策略窮舉法演算的時間複雜度$O(2^n)$，其搜尋效率有明顯的改善。圖9～11的實驗結果顯示，搜尋時間和分散績效是兩個互相衝突的指標，搜尋時間短的演算法所找出的路由之分散績效也較低，反之亦真。

（二）實驗二

在實驗一，搜尋時間短者分散績效不理想（如：成本計算優先之分群註記法），而分散績效高者搜尋時間太長（如：最佳式搜尋和成本計算優先之電波涵蓋法）；因此我們加入後續處理方式來進行搜尋。從最佳式路由搜尋可發現最佳分散路由的中繼段數均界於2～10段之間[4]，我們可操控這個參數範圍進行探索式目標搜尋優先與二次路由搜尋之實驗；實驗結果如圖12～14所示。

[4] 由於本研究在進行系統抽樣之前已先將不經由高階中繼之專線排除，所以沒有1段中繼之情形。

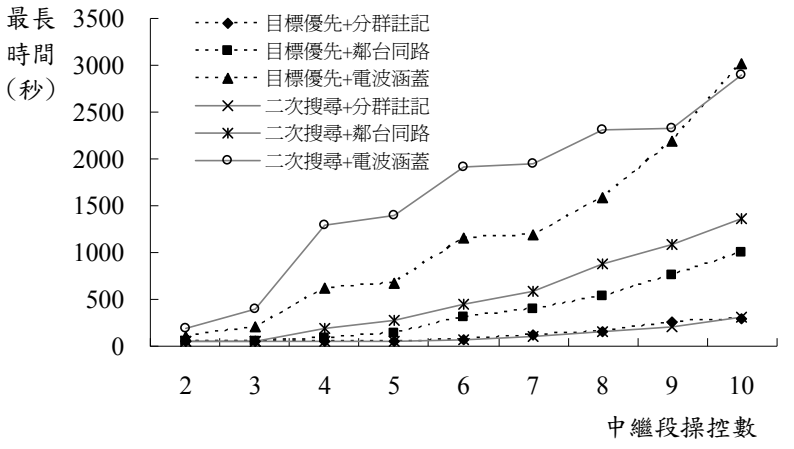


圖12：探索式目標搜尋優先與二次路由搜尋之最長搜尋時間

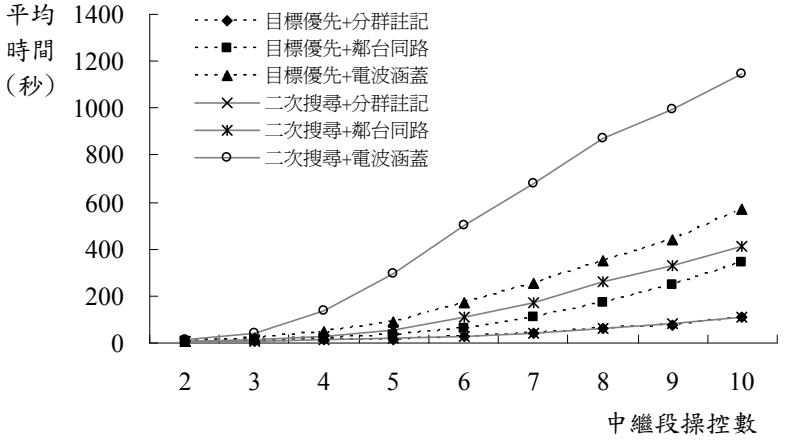


圖13：探索式目標搜尋優先與二次路由搜尋之平均搜尋時間

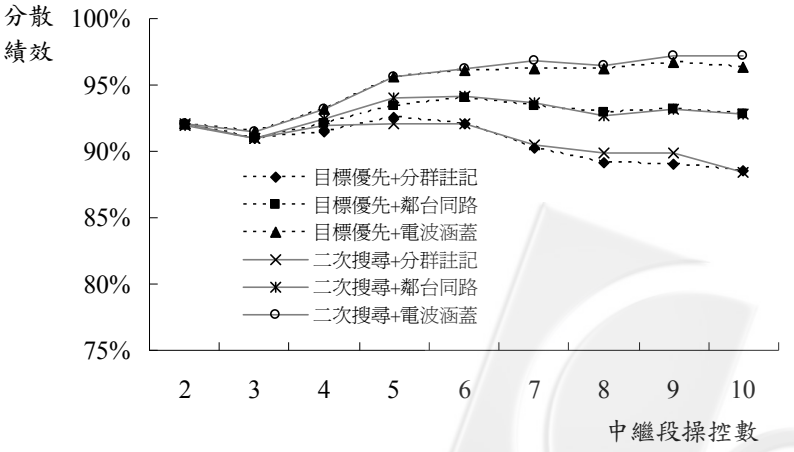


圖14：探索式目標搜尋優先與二次路由搜尋之分散績效

由圖12-14可以看出，使用較少的中繼段數，不但可以得到不錯的分散績效，搜尋時間也大幅降低。

（三）綜合比較

由於每個電路調訂人員對搜尋時間所能接受的範圍不同，因此我們以可接受的搜尋時間為分組的標準，計分為兩類組：

類組一：以演算法的最長搜尋時間為分組依據，每隔10分鐘為一小組，超過60分鐘以上列在同一小組。

類組二：以演算法的平均搜尋時間為分組依據，每隔5分鐘為一小組，超過30分鐘以上列在同一小組。

為便於彙整各種演算法對搜尋時間與分散效度之比較，我們以四個字元為每種演算方法設定代號：

第一個字元以大寫英文字母代表後續處理方式。成本(Cost)計算優先以“C”代表；目標(Object)搜尋優先以“O”代表；二次(Twice)路由搜尋以“T”代表。

第二個字元以小寫英文字母代表分散成本估算方法。分群(Group)註記法以“g”代表；鄰(Neighbor)台同路法以“n”代表；服務涵蓋(Cover)法以“c”代表。

第三個字元以英文字母“Y”及“N”代表是否堅持最少中繼段。

第四個字元以阿拉伯數字代表各後續處理方式對路由中繼段數之操控值；成本計算優先以“0”代表不操控，目標搜尋優先與二次路由搜尋則以其值代表對中繼段數之操控，操控值為10時，以“a”替代。

最佳式路由搜尋演算法以“OPDR”代表。

舉例說明：“TnY6”代表後續處理方法為「二次路由搜尋」，權重設定使用「鄰台同路法」，演算時必須堅持最少中繼段，路由的中繼段數操控在6段。

根據本研究設定的績效評量指標從每個演算法對搜尋時間的分組，選擇分散績效最高之演算法作為理想調訂路由選擇模型，其結果如圖15和16所示。

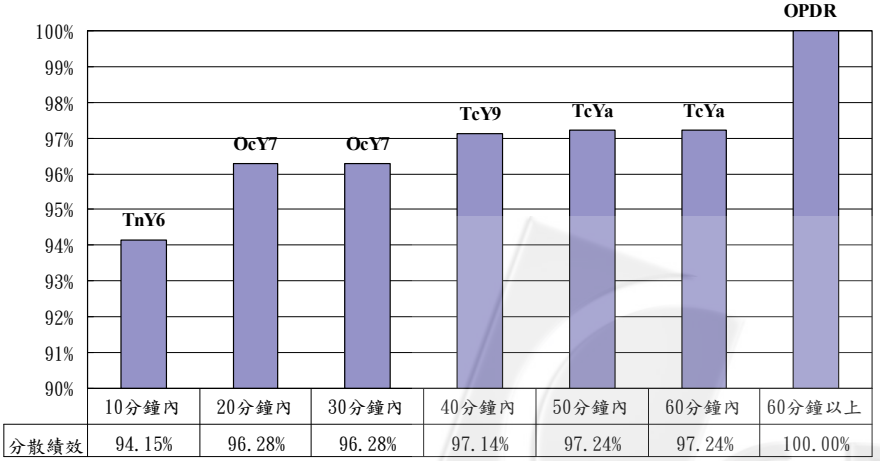
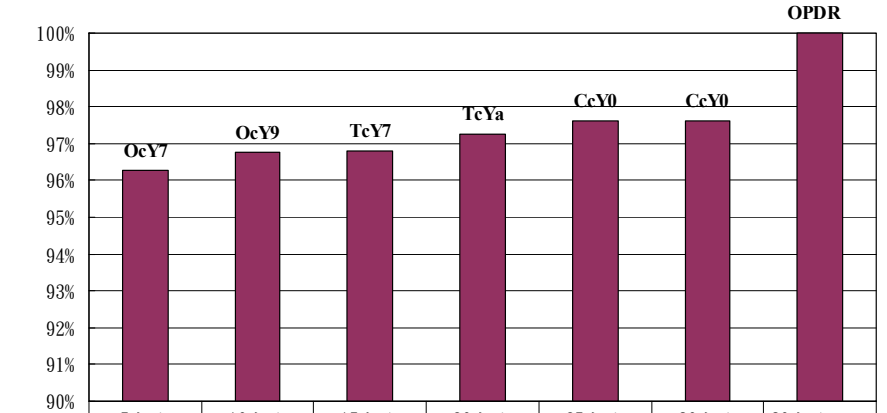


圖15：以最長搜尋時間分組之理想調訂路由選擇模型



	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘	25分鐘	30分鐘	30分鐘以上
分散績效	96.28%	96.76%	96.80%	97.24%	97.60%	97.60%	100.00%

圖16：以平均搜尋時間分組之理想調訂路由選擇模型

陸、結論

一、 論文貢獻

行動基地台專線路由的分散配置，在電路調訂作業上是既煩瑣而又容易被忽略的問題，但是它對行動通信的品質影響卻很大。若能在專線電路申租之時，即著手進行路由的分散配置，更能提升效率，免去事後重覆調訂之工作，對行動通信的維運有非常大的助益。

在本研究中，我們採用圖形結構來模擬現行的行動網路，然後擬定路由選擇策略，經實驗演算及效能評估後，建立「理想調訂路由」的選擇模型。綜合本研究之分析，我們得到以下的結論：分散成本估算方法的精準度越高，計算過程越複雜，搜尋時間自然越長，可能影響電路調訂人員的接受度。但是如果搭配適當的路由選擇策略和演算法，可以讓電路調訂人員自由選擇在特定的時間範圍內，取得最好的分散績效。

本研究在經過完整的實驗步驟之後，已成功建立理想調訂路由選擇模型，可供支援電路調訂人員執行作業。對照中華電信PAMS系統現行的專線路由分散策略，本研究提供的理想調訂路由選擇模型有以下的優點：

1. 預防重於治療，在專線電路新申租之時，即完成路由分散規劃與作業，降低電路調訂人員的工作負荷。
2. 更深入地探討高階中繼段電路的路由分散，在不增加設備投資與營運成本的原則下，提供理想的調訂路由。
3. 更廣泛地分析網路分散成本的估算方式，能協助電路調訂人員選擇更佳的調訂路由。
4. 提高行動網路的穩定度，降低分散成本，減少話務損失，進而減少營收損失。

二、範圍與限制

（一） 研究的範圍

由於某些客觀條件的不允許，本研究的範圍有以下的限制：

1. 本研究進行實驗時所蒐集的相關資料均取自於中華電信行動網路相關資訊系統；但是由於所蒐集到的資料僅限於台灣南部地區以及外、離島等地，而且在3G基地台部分重要的屬性資料蒐集困難，因此本研究的範圍僅以中華電信南區2G行動網路為限。
2. 中華電信PAMS系統中的傳輸電路資料有殘缺不全，致無法用以實驗者，將予事先過濾排除。
3. 本研究僅以現有的傳輸電路資源為範圍，其它如增加傳輸設備投資以達到路由分散目的的分析與建議，不列入研究範圍。

（二）研究限制

本研究進行實驗時使用的方法必須作一些必要的假設方能進行，因此相較於實際的狀況可能會產生誤差：

1. 由於網路分散成本的估算難以作到速度與精確兼顧，因此本研究使用的電波涵蓋法的精確度與一般研究學者建議的模型有些差距，可能會影響搜尋最佳分散路由的效度。
2. 在正常的情形之下，當新增一個基地台之後，鄰近的基地台的優化參數必然會有所調整，其發射的功率應該會小於或等於未新增之前；因此，一般而言，收容該新增台專線路由的傳輸電路，其分散成本應大於新增前。但是，本研究是以現有的基地台專線模擬新申租時的情境下進行實驗，對於新增前的鄰近基地台應有的優化參數無法獲得，僅能假設與現況相同，因此在計算新增前的分散成本時可能會有所高估，甚至大於新增後的分散成本。在這種情形之下，我們會將新增前的分散成本調整成與新增後相同，使其接近實際。
3. 對於收容鄰近台專線路由的傳輸電路（不含收容新增台專線路由），其新增後的分散成本是有可能小於新增前的。這是因為鄰近台的發射功率雖然調小了，但是因為有新增台的電波彌補涵蓋，所以分散成本的增加量發生負值的狀況是合理的。不過為配合實驗的進行，遇到這種情形，我們還是將它設為零，這也可能影響搜尋最佳分散路由的效度。

三、建議

（一）對未來研究方向之建議：

1. 本研究的重點是在現行的行動網路上選擇理想調訂路由，但是現行的行動網路並非是處在分散最佳化的狀況下，因此在專線路由分散的議題上仍有改善的空間。如何達成行動網路的分散最佳化，可作為將來持續研究的方向。

2. 由於本研究限於資料蒐集的限制，研究範圍僅限於南區2G系統；未來在限制不存在之後，應重新建構適用全區行動網路之理想調訂路由選擇模型，以彌補本研究之不足。

（二）對企業之建議：

1. 中華電信目前僅要求對基地台終端的STM1電路作分散，至於中繼段更高階的傳輸電路則依靠傳輸設備本身的保護功能。事實上應將中繼段更高階的傳輸電路納入考量，才能有效發揮路由分散的效益。
2. 可參考本研究的成果，在資訊系統（如：PAMS）開發相關「選擇理想調訂路由」之功能，協助電路調訂人員在受理新增基地台專線申租時，有效率地選擇適當的電路路由。
3. 台哥大、遠傳、亞太、威寶等其他行動業者對專線路由分散的效應應有基本的認識，未來使用自建的傳輸網路時方能及時因應；「保障行動網路服務品質，減少話務損失」在商業的競爭中一直是最重要的一環。

參考文獻

1. 中華電信南區網路資源調訂及管理系統，http://pams.chts.com.tw/。
2. 中華電信行動通信分公司ISO文件管理系統，http://isodoc.chtm.com.tw/。
3. 中華電信行動通信網路話務資訊系統，http://time.chtm.com.tw/。
4. 中華電信行動電話基地台資訊系統，http://mbasis.chtm.com.tw/。
5. 林一平，1999，第四章行動管理概述，行動電話及數據網路管理，維科出版社。
6. 周佑霖，2006，行動通信基地台建設之法制思考，台灣電信產業發展協會論壇，http://www.ttida.org.tw/論壇—行動通信基地台建設之法制思考P1.htm。
7. 官振鳴，2002，基地台天線電波涵蓋區分佈研究，電信研究雙月刊，第32卷，第5期。
8. 范文駿、王嚴毅、塗晟達、劉光桓，2005，行動通信品質測試與分析，電信研究雙月刊，第35卷，第3期。
9. 高東海，2006，傳輸概念，中華電信網路教學教材。
10. 陳正元，2001，SDH系統簡介，中華電信網路教學教材。
11. 張其善、吳今培、張款奕，2001，改進的雙向啟發式搜索演算法及其在車載導航儀中的應用，電子技術應用，第27卷，第8期。
12. 維基百科，A* 演算法，http://en.wikipedia.org/wiki/A-star_search_algorithm。
13. 維基百科，Dijkstra演算法，http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm。
14. Dijkstra, E. W.“A note on two problems in connection with graphs,”*Numerical Mathematics*, vol. 1, pp. 269-271, 1959.
15. Nilsson, N. J. *Artificial Intelligence: A New Synthesis*, Morgan. Kaufmann, 1998.

16. Hart, P. E., Nilsson, N. J. and Raphael, B. "A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths in graphs," *IEEE Trans. Syst. Sci. and Cybernetics, SSC*-4(2):100-107, 1968.