

一、前言

1-1 研究動機與目的

自古以來水利建設即為國家重要建設之一環，台灣地區因水文情況特殊，降雨在時間與空間上分布不均，且河川坡陡流短，旱澇災害仍頻。在經濟發展快速及國民生活型態改變下，國家發展與民眾對水資源及水利建設之需求日益增高。早期中國歷史上水旱災害頻仍，歷代統治者大多重視興修水利，也曾興修過許多大型水利工程。近代早期，憑經驗行事，治河方法落後，因此水患難以根治，民國年間因西方先進的科學與知識，用現代科學方法開展水文、測量、地質、氣象、泥沙等基礎工作，以期減少治水決策失誤和盲目性。

儘管現代科技不斷的開發與進步，然而對於天然災害仍無法有效的掌握，其中洪災及水患為生活中最常發生的天災，而進行防災研究必須掌握各種的水文與地文條件。地文方面由數值地形模型可擷取出作為後續水文分析模型的初步資料，例如：水系的長度、流域面積、流域範圍及河川級數等。

地理資訊系統(Geographical Information Systems, GIS)包含表達位置之點、線、面的空間資料及敘述性質的屬性資料，藉由電腦設備與地理資料的組合，快速準確地提供空間資料的連結、儲存、規劃、查詢、分析及展示等功能。本研究利用由單一感測器與單一處理標準產製而成台灣地區 SRTM 的高程數據，使用不同的演算法進行水系及集水區分析，藉以探討該數據是否適合做為水系網路的擷取以及集水區流域，並探討不同集水區及水系擷取演算法之成果差異。

1-2 研究方法

太空梭雷達製圖任務(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)由美國、德國與義大利太空中心共同合作，紀錄了北緯 60 度到南緯 57 度間所有陸地的雷達數據，並產製該區域之數值高程模型，其高程性質為地形覆蓋面。雖然 SRTM 產製皆為數值覆蓋模型，而且受限於高程解析度，及其數據生成之方式，不易編修成為數值「地面」模型，但在本研究中，均視為「數值高程模型」。不探討其間

之差異。數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)可以數值的形式儲存結構分為網格式的 DEM、不規則三角網和等高線等三種形式)。而本研究以 ArcGIS 8.3、GRASS 6.0 為工具，以台灣地區的 DEM 資料實際計算出全台灣的水系圖，且於 ArcGIS 8.3 中利用 Tarboton(1997)所提出的無限流向法在各種假想地形面上均有較為理想的表現，因此本研究在流向演算法的使用上，採用無限流向法的計算方式；另一方面則使用自由軟體 GRASS 中 r.watershed，其中使用由 Jenson and Domingue(1988)所提出藉由改善 O'Callaghan and Mark (1984)提出的 D8 演算法在窪陷填平的步驟。將所得的水系以及集水區資料進行評估，採用的評估指標有

1. 目視法：以目視直覺判斷；
2. 河川之形狀特性：a. 流域的平面形狀 b. 流域的平均寬度 c. 流域的形狀因子 d. 流域之密集度；
3. 河川級序：比較水系的級序與數量比
4. 線形誤差指標：a.面積法 b.點位生成法



第二章 由 DEM 擷取河川網路流向之回顧

人類在很早以前就開始想方法來描述自己所熟悉的各種地表現象，繪圖可說是最古老的一種，藉由圖畫可以粗略的傳達所見到的地形景觀，但這些訊息主要是表達型態與色彩的特徵，對於定量的描述則非常有限[李志林、朱慶，1999]。繪圖持續演進便成為地圖，可精確表達地表現象。過去在各種地圖中，等高線為最常用之地形展現方式，

利用數值來表達地形的的方法，稱為數值高程模型。數值高程模型的資料結構常見的有規則網格(regular grid)，不規則三角網格(triangulated irregular network)以及數值等高線(digital contour)等三種。其中不規則三角網是一種以連續不規則的三角形，表達三度空間連續的資料結構。解析度則可以隨著資料的複雜度而改變，可以有效的表示地形上的劇烈變化。而數值等高線其等高線之間不易建立關係，所以目前僅適合用於資料的展示，而較不適合複雜的計算與分析。規則網格的資料型態隨著計算機科學的發展廣泛的使用，一組正交的網格上，每一網格點均有其高程資料，這些描述真實地形的網格資料為一規則之矩陣結構。在資料的處理方面，正交網格資料的處理與儲存最為簡便，且其中的矩形網格由於演算法容易設計且易與遙測影像資料結合。

在數值高程模型上，隨著電腦運算以及分析技術的進步，可以藉由地理資訊系統分析萃取出各種的地形相關屬性資料供後續使用，如坡度、坡向、平面曲率等，對於從事環境模擬或環境分析的研究有顯著的幫助。本研究探討利用 DEM 資料擷取河川水系網路不同演算法中的異同，迄今為止，使用 DEM 網格已提出了各種的演算法如 O'Callaghan and Mark (1984) 所提出的 D8 演算法、Fairfield and Leymarie (1991) 所提出的 Rho8 演算法、由 Quinn 等人(1991)所提出的多流向法演算法(Multiple direction based on slope)、Tarboton (1997) 所提出的 D_{inf} 演算法、Liang and Mackay (1999) 提出的最優化演算法(Globally optimal feature handling)以及由 Arge 等人(2001) 所提出利用廣先搜尋為基礎的 terraflow 演算

法，圖 2-1 為截至目前為止對於河川水系網路擷取方法之整理。

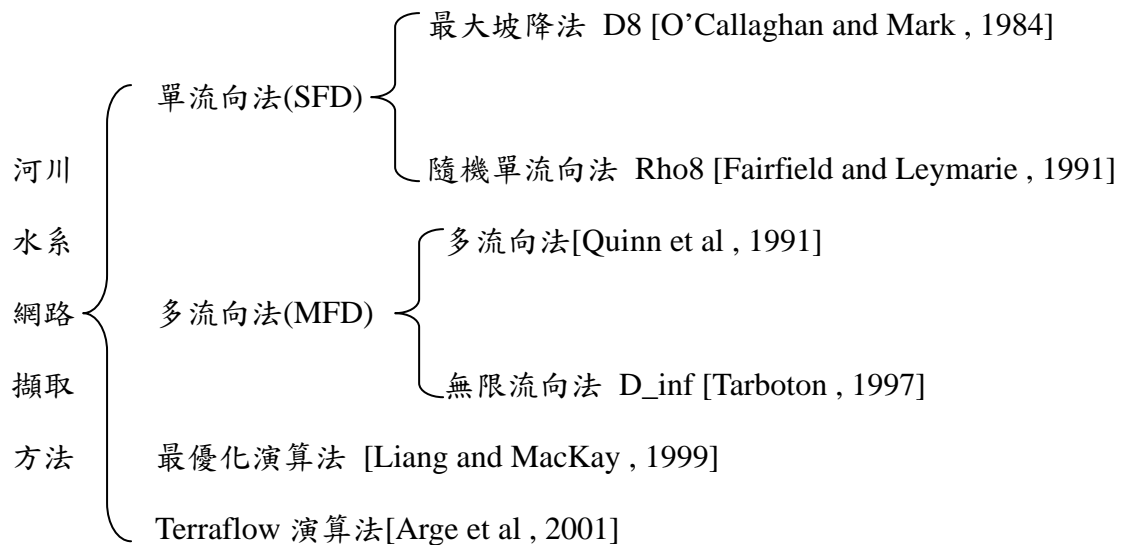


圖 2- 1：河川水系網路擷取方法

2-1 單流向法

上述各種河川水系網路的擷取方法中主要可以歸納成兩種，單流向法(SFD)與多流向法(MFD)，單流向法最早由 O'Callaghan and Mark(1984)年提出，又稱為最大坡降法(Deterministic eight-node, D8)，該演算法由於計算簡單、效率較高及對凹地、平坦區域有較強的處理能力而應用較為廣泛[Tarboton, 1997]。在任意的 3*3 的網格視窗中，以中心網格與周圍八個網格的高差做為判斷流向的基準。換句話說，D8 演算法的流向是中心網格的單元流量全部進入最陡(下降)方向上的下游網格單元中，如圖 2-2。因為只能以八個方向(E,ES,S,SW,WN,N,EN)紀錄坡向，此八個方向並無法與實際地形上的流向符合，因此無法精確的描述流向為 D8 演算法最大缺點。

3	2	4
7	5	8
7	1	9

圖 2- 2：D8 演算法之八個流向[Arge et al., 2001]。

因此 Fairfield and Leymarie (1991)提出隨機單流向法(Randomized single flow direction, Rho8),可以克服 D8 演算法中與實際地形上流向不符的情形發生。Rho8 是 D8 的統計版,兩者的共同點在於流量比例的分配:下游網格接收全部上游網格單元流量;兩者之不同點在於流向的確定,D8 無一例外的選擇位於最陡坡降方向上網格點做為中心網格的流向,而 Rho8 則透過隨機參數的引入在所有較低單元中選擇一點做為中心網格的流向[Zhou and Liu, 2002]。若由中心網格流入某一網格的機率為 p ,則流入另一網格的機率為 $1-p$,當兩個流向的網格數比例恰當時($p/(1-p)$),整體的流向有可能與實際流向一致[Fairfield and Leymarie, 1991]。將 D8 與 Rho8 之計算流程概要敘述如下:

D8 algorithm [O'Callaghan and Mark, 1984]

```

For each neighbour points [x,y] of [i,j]
{
  If (Z [x,y] > Z [i,j])
    If ( MaxSlope (x,y) → (i,j) )
      Fract_Flow (x,y,i,j)=1.0 ;
}

```

Rho8 algorithm [Fairfield and Leymarie, 1991]

```

For each neighbour points [x,y] of [i,j]
{
  dz=(Z [x,y] - Z[i,j]) * Ran;//Ran 為(0,1)之間的隨機數
  if (dz>0 )
  {
    If (MaxSlope (x,y) → (i,j) )
      Fract_Flow (x,y,i,j)=1.0;
  }
}

```

2-2 多流向法

單流向法在山區的洪氾平原或平坦地區的沖積地形所擷取出的成果較差。為了克服這方面的問題，Quinn et al.(1991)提出了多流向的概念，多流向法認為水流具有分散的性質，在 3×3 的 DEM 網格中，中心網格並不會完全的流入某單一個下游網格，而會依中心網格與周圍鄰近網格間的坡度去分配水量，如圖 2-3 所示。地勢起伏明顯的地區，由於流向明確，多流向法的發散性質在此會造成後續集流面積的錯誤推估。Tarboton(1997)提出無限流向法，此法囊括了單流向法與多流向法，將計算容易以及與實際地形上的流向一致的特性合併，並利用標準地形與其他方法的結果進行比較，證實較為正確且方便[Zhou and Liu, 2002]。無限流向法最主要是將多流向法在鄰近網格分流的觀念做修正，認為僅需要考慮最陡的地形面，中心網格與其周圍八個網格形成八個平面三角形，分別計算出每一個平面三角形的坡度，將最大的三角形坡度做為該中心網格的坡度，且該三角形坡向即為中心網格坡向。該演算法計算流程描述如下：

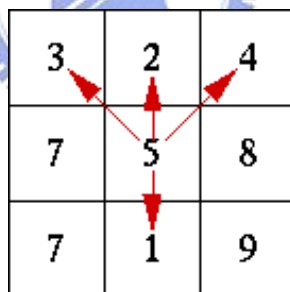


圖 2-3：多流向法的流向表示[Arge et al., 2001]。

Dinf algorithm [Tarboton 1997]

```
For each neighbour points S[x,y] of [i,j]
{
  If ( Z(x,y) > Z (i,j) )
  { Define the triangular facets aspect TFA of (x,y);
    If TFA location in k triangular facets //k=1,2,3...8
      If (TFA →(i,j) )
        Fract_ Flow (x,y,i,j) =Drains from (x,y) to (i,j)
        Based on angle
  }
}
```


2-3 最優化演算法

無論是使用何種演算法找出模擬地表水流的方向，最主要的還是受限於 DEM 資料之解析度，這些演算法通常會因為 DEM 上的窪陷(pits)或者一些阻礙水流的壩(dams)而影響成果，Liang and MacKay (1997)提出最優化演算法(optimization algorithm)，藉由自動化的搜尋減少人為的介入，但是該演算法於山谷平坦底部區域及分歧部份(straddle divides)會得到錯誤的結果。MacKay and Band(1998)提出設立一個傾斜梯度門檻值，將各個部位的集水區個別的找出各自的理想傾斜梯度門檻值則可以將分歧部分的集水區部份完整的標示出來。在山谷平坦底部區域 Liang and MacKay(2000)提出廣先搜尋演算法(Breadth-First search algorithm)，如圖 2-4 所示藉由整體性的搜尋評估可以解決這部分的問題。Liang and MacKay(2000)之演算法描述如下：

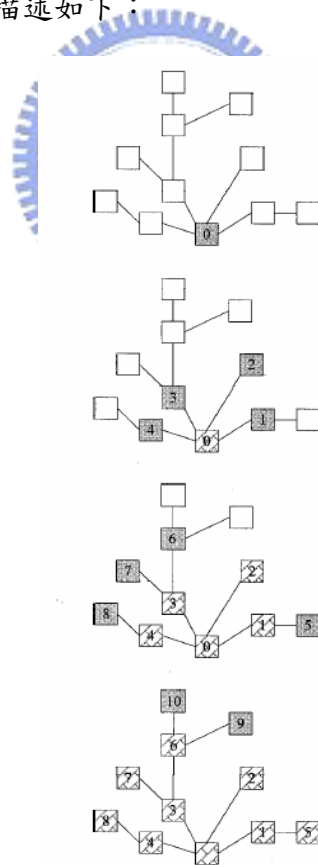


圖 2- 4: 廣先搜尋法(breadth-first search)。數字為搜尋的順序[Liang and Mackay, 2000]。

Optimization algorithm [Mackay and Band, 1998]

```

P=1/(2N); // P 為一收斂值；N 為單位網格大小，單位與高程值一致。
Tp=0.05 ;
Tf=0 ;
While( Tp-Tf >P)
{
    Use breadth first search to make the object with Tp ;
    If (object all marked )
    {
        Tp=( Tp + Tf)/2 ;
    }
    else
    {
        tmp=Tf ;
        Tf = Tp ;
        Tp =2( Tp - tmp );
    }
}

```

Breadth-First search algorithm [Liang and Mackay, 2000]

```

For each cell i on the front line {
    For each neighbour j of i {
        If (gradient (j) < flat threshold) {
            If (j flows to a cell in the front line) {
                Do nothing ;
            }
            Else{
                Force j to flow to i ;
            }
        }
    }
}

```

2-4 TERRAFLOW'S 演算法

隨著遙感探測的發展，可以使用大量且空間解析度高之資料量。例如美國太空梭雷達製圖任務(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) 獲得將近 10 terabytes 涵蓋全球 80%的地面區域資料及解析度 30 公尺的 DEM 資料。在地形方面使用這樣大量的資料進行分析，Arge et al. (2001)認為資料在快速的主記憶體

與較慢的硬碟之間的傳輸問題比 CPU 的處理速度更重要，前者常常成為處理上的瓶頸問題。目前現存的 GIS 系統在處理資料上主要取決於 CPU 的處理速度而不在資料的傳輸。Arge et al. (2000)證實 I/O-efficient algorithms 在計算流域累積值時可以減少數小時至數週的時間。其中又提及各個不同的演算法或者目前現存的 GIS 軟體在計算河川網路流域的時間與資料量的大小並無絕對關係，反而跟資料所描述的地形特性較相關，例如資料量大的平坦區域其計算河川流向網路的時間並不一定較慢。

本研究在擷取河川網路水系採用 Tarboton 所發展的 TauDEM[Tarboton, 2002] 軟體，外掛於 ArcGIS 8.3 版[ESRI(2002)]，以及 GIS 自由軟體 GRASS 內 r.watershed 指令，其中 TauDEM 以無限流向法為基礎而 r.watershed 則以 D8 流向法為基礎。TauDEM 與 r.watershed 將在後續章節詳細討論。

