

灌溉渠道系統空間資料結構之建立及其應用

A Spatial Data Structure of Irrigation Canal Systems

國立台灣大學生物環境系統
工程系博士生

溫在弘

Tzai-Hung Wen

國立台灣大學生物環境系統
工程系碩士

蘇郁修

Yu-Hsiu Su

國立台灣大學生物環境系統
工程系教授

蘇明道

Ming-Daw Su

摘 要

農田水利會管理業務之主要目的在於適時輸配適量之水至灌區以維持作物之生長，而灌溉渠道是進行灌溉輸配水管理工作之基礎，因此渠道網路系統之架構管理與維護即成為農田水利會業務的重心。本研究之目的在研討灌溉渠道等樹狀輸送網路的空間資料結構，建立渠道系統與灌區間之空間位相關係，以期有助於灌溉管理決策之彈性，提昇水利會業務之效率及效能。

本研究以嘉南農田水利會之曾文-烏山頭灌區為研究範圍，該灌區以水利小組(約 50~150 公頃)為灌溉管理單位，共包括 673 個水利小組。研究中針對數位化之灌溉渠道幹線、支線以及分線進行編碼以建立每一渠段之上下游位相關係，並透過每一個小組取水口所在的渠道來建立灌區-渠道之連結關係，發展出灌溉管理應用渠道系統之空間資料結構。研究中並以 Microsoft Visual Basic 與 ESRI MapObjects 在所建立之渠道空間資料結構上發展灌溉管理之溯源分析及受灌區查詢等應用系統；溯源分析可針對任一水利小組，透過取水口以及渠段的位相關係，查詢該小組水源上游輸配水路之渠段長度或名稱等資訊；受灌區查詢可針對任一渠段查詢其下游所有灌溉區域並統計其灌溉面積、作物制度等資訊。透過整合渠道網路與灌區之位相關係建立溯源分析及受灌區查詢，將有助於灌溉水質污染源追蹤、作物制度調整以及休耕區域選定等重要農田水利業務之決策品質，達成灌溉管理業務資訊化之目標。

關鍵詞：空間資料結構，樹狀輸送網路，地理資訊系統，灌溉系統。

ABSTRACT

Irrigation canal systems are the important infrastructures of water management for irrigation associations. Therefore, management and maintenance of canal systems plays a vital role for irrigation business. The purpose of this paper is to establish spatial data

structures of canal systems and spatial relationship between irrigation command area and canal systems in order to improve the flexibility of decisions for irrigation management.

This study area is Tsengwen-Wushantou irrigation command area, of which Chia-Nan Irrigation Association is in charge. Irrigation canal systems, including main, secondary, and branch canals, are digitized and established directional relationship between each canal segment. An irrigation group (about 50~150 hectares) is used as spatial unit for this command area, which is composed of 673 irrigation groups. This paper applied the spatial relationship of canal systems for tracing the source of command area and tracing affected command area from some blocking canal segment. By using the capacity of canal tracing, effectiveness and flexibility of policy-making for irrigation management can be improved.

Keywords: Reservoir operations, Reservoir planning, Goal programming, Linear programming, Network programming.

一、前言

農田水利會是農業水資源主要之管理運作機構，由於其業務所涉及之灌區幅員寬廣，相當適合利用地理資訊系統輔助灌溉管理及相關水利業務。灌溉用水管理之主要目的是適時輸配適量之灌溉水量至灌區，而渠道系統是進行灌溉輸水、配水管理工作之基礎，因此渠道系統之管理及維護亦成為農田水利會業務的重心，若能透過地理資訊系統連結灌溉渠道與灌區之間之空間位相關係，將有助於瞭解水利會各渠道系統與水源之空間關係以及各灌溉渠段之受灌區域等相關資料(曾釋賢，2000)，除了可大幅提昇管理效率，亦可針對農業水資源管理、調配之決策提供有效之分析及參考資訊。

樹狀輸送網路(Tree-Based Transportation Network)在農業水資源管理中佔有重要的地位，例如河川、灌溉及農田排水系統都屬於樹狀輸送網路，而這類網路中包含大量水文、地文等時間與空間相關的資料(蘇明道，1998)。灌溉管理、用水調配和輸水網路關係密切，許多分析與管理之資訊都要透過這類網路分析中取得，但目前在台灣並沒有完整的河川河段或渠道網路資料記錄之架構，僅有一些簡單的數化圖檔，除展示功能外並不能夠提供進一步的訊息或進行進一步

之分析；再者，由於渠段中任一點的斷面、水力、水文以及水質等資料目前都沒有統一的網路系統或資料庫可以作為資料儲存之參考依據，因此雖有相關之監測資料散見於許多各自獨立的資料庫中，但因這些資料庫無法彼此連結或進行綜合分析，因此導致研究成果無法累積(Djokic, D, et. al, 1993)。若能夠建立一個包含空間位相資料，並具備網路模擬分析能力的樹狀輸送網路空間資料庫以管理灌溉系統之相關資料，對於農業水資源管理將有更多助益。

農業灌溉渠道系統係屬於樹狀輸送網路的一種，整個系統依級序由水源自上游到下游連接形成樹狀分枝的網路結構，如能將渠段中包括上下游關係、輸配水與水量之關係、渠段內面工、歷年之維修紀錄，以及在結點或渠道線段上各水工結構物及樁號等資料建立完整網路模擬系統及其空間資料庫，便可利用地理資訊系統之網路分析功能，提供渠道輸配水管理上的相關資訊。但除了建置灌溉渠道之空間資料結構除了能掌握渠道上下游之空間關係以及灌區(水利小組)與取水渠道之連結關係外，由於灌溉渠道系統相當複雜，有可能需要依應用需要而分階段進行數化(例如首先建立幹支分線等主要渠道，可初步建立大區域灌溉用水規劃之用，而後再建立中小給水路或補給水路等空間資料，作為後續灌溉配水

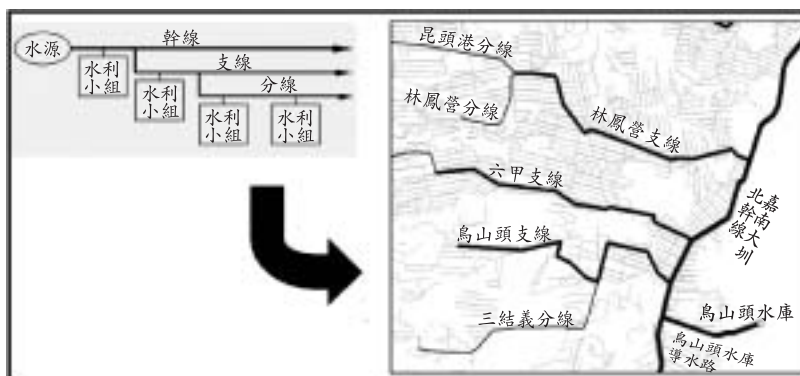


圖 1 灌溉渠道系統結構示意圖

管理之基礎），因此渠道之空間資料結構設計尚需考慮保留渠道系統後續擴充之彈性。本文將提出研討灌溉渠道之空間資料結構及其應用，並以嘉南農田水利會之曾文-烏山頭灌溉系統為例，建立渠道系統之空間資料與應用系統之雛形，作為後續樹狀輸送網路之空間資料建立之參考。

二、現有渠道系統數值資料之檢討

灌溉渠道系統為一典型樹狀輸送網路，圖 1 說明灌溉渠道與水利小組的關係：從水源經由幹線、支線、分線之各分級渠道將所需之用水量輸送到各水利小組。行政院農業委員會於 1988 年委託農業工程研究中心對全國 17 個農田水利會之幹支分線以及中小給水路、各水工設施等進行數化，以建立台灣地區農田水利會之灌溉渠道數值資料，作為協助水利會後續進行圖籍管理之基礎(蘇明道等，1998；譚智宏等，2001)，然而，由於該計劃之主要目的在於建立電子圖籍，故並未考慮空間圖資之地理資料架構，因此在現有數值資料之空間關係方面，有許多渠段中斷而不相連(如圖 2 之虛線圓圈內所示)，以及渠段間彼此交叉等(如圖 2 之實線圓圈內所示)空間結構錯誤或矛盾之問題，這些尚未建立完整空間位相關係之數值資料，僅能提供一般比例尺下之地圖輸出或圖形化視覺展示，但無法作為後續發展渠道網路分析等應用，例如查詢從灌區取水口至水源之渠道總長度或是某一個輸配點以下之灌溉區域面積等，因而雖已改善以往紙圖之管理與使用之間



圖 2 現有灌溉渠道數值資料常見的空間錯誤

題，但無法進一步提昇灌溉規劃與管理資訊化之目的(蘇明道，1998)。

除了前述圖層數化之問題外，有關渠段之編碼亦未完善，根據 1988 年農工中心所建立之灌溉渠道系統，其渠道編碼係依照渠道名稱編碼，沒有對同一渠道的各渠段加以區分；表 1 以嘉南水利會南幹線系統為例列出現行分級編碼，該編碼方式在分析、應用或資料及後續擴充上均會遭遇限制，茲敘述如下：

(1) 渠道系統並未分段編碼：

以圖 3 之嘉南大圳南幹線為例，該渠道自烏山頭導水路之未端起，幹線末端分叉為南幹支線與善化支線，其中分別被麻豆支線與茄拔支線及東勢寮支線區分成四個渠段，由表 1 可知，嘉南大圳南幹線僅有單一獨立之渠道編碼(編碼為 0103)，這種以相同的渠道名稱編碼之方式，一旦地理資訊系統建立位相關係後，南幹線將被分

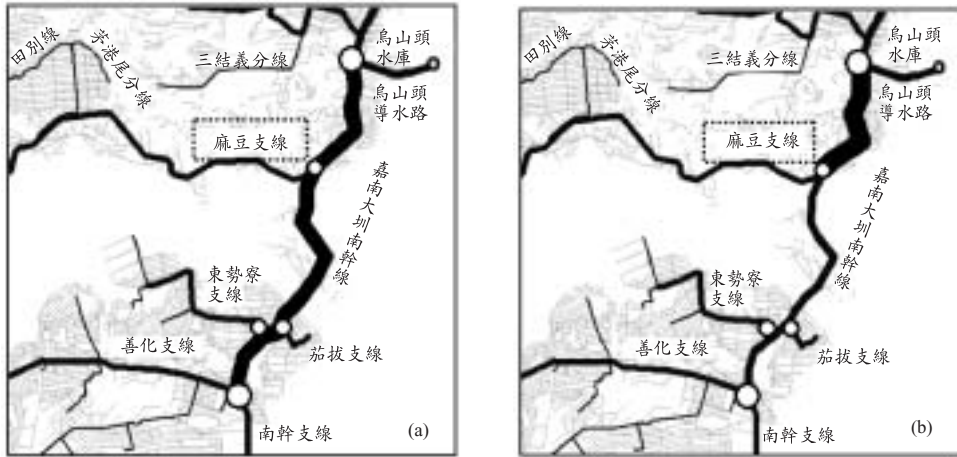


圖 3 渠段編碼方式示意圖

給以一獨立的編號，如此將樹狀網路中每一渠段獨立分析，滿足網路資料庫的空間位相架構，如圖 3-b 所示，麻豆支線之上游渠段之查詢結果能夠以嘉南大圳南幹線其中一個渠段表示之，紀錄正確之空間位相關係。

(2) 渠道編碼過長且有渠道層級數之限制

目前水利會使用之渠道編碼原則是紀錄上游所有渠道之編碼，因此編碼長度是依據渠道分叉級序而定，以表 1 中之安寮分線為例，烏山頭水庫導水路為接據水源之第一級渠道，因此導水路之編碼長度為 2 碼(01)，其上游可以追溯到烏山頭導水路，而後分叉成南北兩大幹線，因此南幹線等第二級渠道之編碼長度為 4 碼(0103)，其中前兩碼為該渠道上游之導水路編碼，後兩碼則為南幹線之流水編碼，而後善化支線是從南幹線分叉成之第三級渠道，其編碼長度為 8 碼(01030004)，其中包括從上游之南北幹線以及導水路代碼，依此類推，乃至於到第七級渠道之安寮分線，其編碼長度則共計 24 碼(如圖 4 所示)，其代碼紀錄從該渠道上游之海尾分線、海寮分線、曾文溪分線、善化支線、南幹線以及烏山頭導水路等之編碼(曾釋賢，2000)。除了編碼長度過長，增加儲存空間之負擔外，此種方式亦需先行設定最大的渠道分屬層級，目前嘉南水利會渠道編碼系統之最大層級為 7 層，但複雜之渠道網路甚難評估做最末端之渠道分叉層級數，在資料庫之欄

渠道層級	渠道名稱	渠道編碼
第一級	烏山頭導水路	01
第二級	南幹線	01 03
第三級	善化支線	0103 0004
第四級	曾文溪分線	01030004 0010
第五級	海寮分線	010300040010 0001
第六級	海尾分線	0103000400100001 0001
第七級	安寮分線	01030004001000010001 0001

安寮分線之渠道代碼 (共 24 碼)

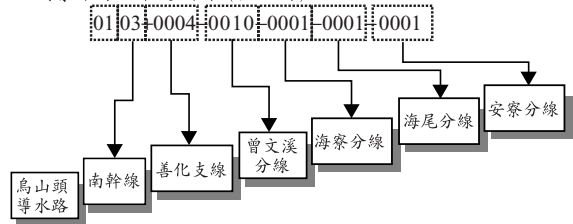


圖 4 各層級渠道之代碼說明圖

位設計時，預先規劃渠道編碼之最大層級數可能因後來發現層級數不夠而使整個資料結構必須全面重新調整。

(3) 缺乏後續新增及擴充之彈性

由於渠道系統結構龐雜，渠道系統之建置通常分階段完成，例如先建置幹線、支線、分線等主要輸配水渠道之灌溉管理應用系統，而後續擴充至中小給水路之配水管理等應用，以表 1 中之安寮分線為例，若渠道編碼之最大欄位長度預先設定為 7 層級 24 碼，如要延伸數化安寮分線中欲後續延伸其中小給水路，則後續新建之中小給水路之渠道編碼長度勢必超過原先設定之 24

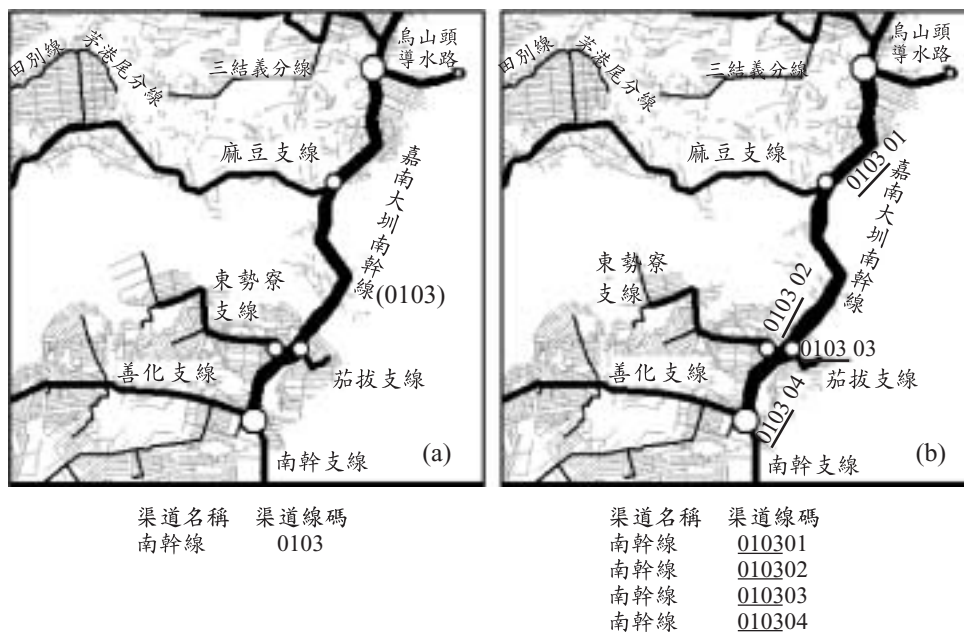


圖 5 渠道編碼系統之擴充

碼，新建渠道之編碼長度則受到限制，故目前之編碼方式在資料擴充上會遭遇限制。

此外，曾釋賢(2000)為修正渠道編碼未分段所造成之問題，因而擴充農工中心之渠道編碼方式，在渠道原本之編碼架構外，擴充兩碼，作為渠道分段之流水編碼，以圖 5-(a)之嘉南大圳南幹線為例，原本之編碼系統為 0103，由於該渠道被麻豆支線、東勢寮支線及茄拔支線等分成四段，因此擴充編碼後，南幹線之各段均有獨一的編碼(如圖 5-(b)所示)。這種編碼方式的擴充，雖然解決渠道分段之問題，但是若在既有之渠段中，插入中小補給水路，進行渠道後續延伸，以圖 5-(b)為例說明，若在南幹線第二段渠道(編碼 010302)中，插入一段補給水路，則南幹線第二段渠道又被分成兩段，勢必重新編碼，而重新編碼之結果，將破壞既有之空間位相關係，渠段每分段一次，就必須重新建立並檢查其上下游之連結關係。故這種編碼方式無法有效維持渠道系統擴充與延伸之彈性，本研究將針對目前渠道數值資料之問題，發展渠道系統之空間資料結構，以增進渠道數值資料的後續擴充與應用之空間。

三、研究方法

為發展適合水利會業務之渠道空間資料結構，本研究乃以轄管台灣最大灌溉區域之嘉南水利會為研討對象。以嘉南水利會之灌溉面積、渠道系統與管理組織之複雜度與完整性，本研究之成果應可擴展至台灣其他之農田水利會。

3-1 建置渠道系統之空間資料

本研究以曾文-烏山頭水庫之灌溉系統為研究對象，如上節所述，由於現有渠道之數值資料在空間上存在一些如渠段未連接或渠段交叉等圖資上之錯誤，以及空間位相上之不完整，因此本研究更新數化建置曾文-烏山頭水庫灌溉系統之地理資料庫，以研討樹狀渠道系統之空間資料結構。地理資料之建置是以內政部出版之兩萬五千分之一及五千分之一地形圖以及現有渠道之數值圖籍為基礎，以每一渠道名稱為一線段，並依照灌溉輸水流向進行數化，以確定網路分析中所有渠道的流動方向均與實際情況相符。建置之渠道範圍涵蓋曾文-烏山頭水庫灌區內之幹、支、分線等灌溉渠道(如圖 6 所示)，以每一水利



圖 6 曾文-烏山頭灌區灌溉渠道系統之幹支分線

小組均能連結到一供水渠道為原則，以便建立灌區與灌溉渠道之空間關係。渠道完成數化後，並建立各渠段間之空間連結關係及正確的水流方向(如圖 7 所示)。

3-2 渠段資料庫之空間位相關係

渠道空間資料結構之建立在於利用資料庫欄位與資料編碼之方式來記錄各渠段之間上下游以及水流方向等空間位相關係，在以往渠道之空間資料結構中，如表 1 所示，常用層級編碼方式來表達資料的空間關係，但層級編碼的方式常因需要預設最大可能之層級數而使彈性降低，且常因編碼長度過長、減低資料庫處理效率之問題。故本研究中並不採用層級編碼之概念進行渠段資料編碼，即摒棄單從渠段資料的編碼表現上下游的空間關係，改採在資料庫中增加空間位辨識的欄位以提供空間分析的需要。

在樹狀輸送網路資料庫中用來表現空間位相關係應包括：上游輸送線段、下游輸送線段、級序欄位等(Lupien, A.E., et. al., 1987)，而本研究中之渠道系統為一供水型之樹狀網路系統，其水流動方向是由水源沿幹線分流到下游支線的方

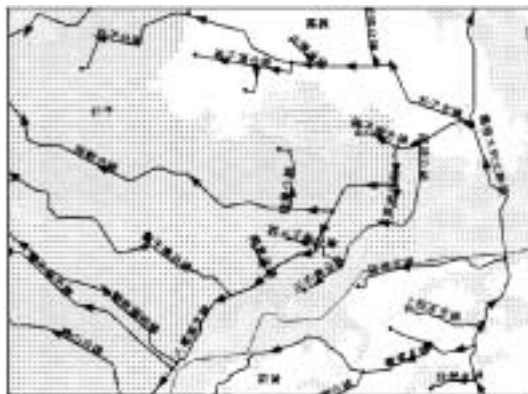


圖 7 渠道網路之連結與輸水流動方向

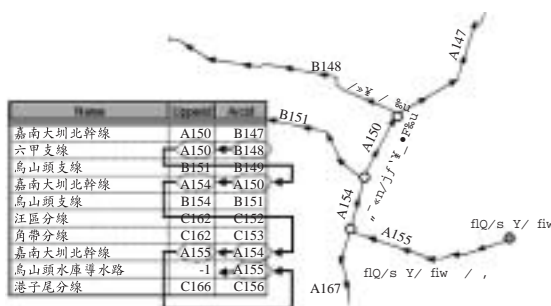


圖 8 建立渠道上下游空間關係之資料結構

向，因此所有的渠段均會有唯一的上游渠段，但可能有一個以上之下游渠段，在考慮資料欄位精簡的原則後，本研究所建立渠道系統之資料結構中僅記錄該渠段之上游渠段代碼，未來透過資料查詢，即可由上游渠段編碼得知所有渠段彼此連接及層級的關係。以圖 8 中所示之六甲支線為例，Arcid 欄位表示六甲支線之渠段編碼為 148，Upperid 欄位表示六甲支線上游之渠段編碼為 150，而渠段編碼 150 為嘉南大圳北幹線，而其上游渠段則為渠段編碼 154 之嘉南大圳北幹線，接續其渠段之上游為渠段代碼為 155 之烏山頭水庫導水路，而導水路之上游渠段代碼為-1，表示該渠段上游即為水源，如此則完成六甲支線上游所有渠段之空間關係。儘管每筆渠段並未記錄下游渠段碼，但透過資料庫查詢的功能，亦可查詢到渠段下游的所有相關資料。

本研究除了建立渠道網路之編碼架構外，為了建立渠道系統與受灌田區之間的關係，乃在水

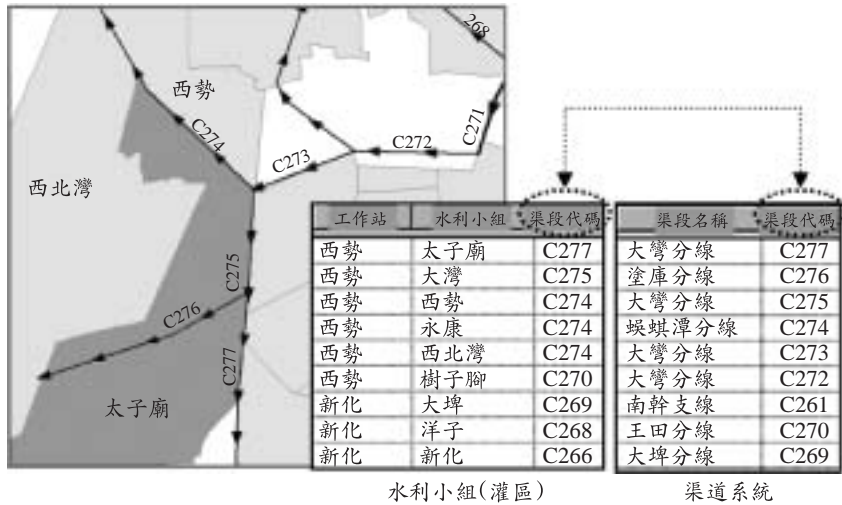


圖 9 水利小組(灌區)與渠道系統之連結

水利小組之圖層屬性中，增列一欄位以紀錄該水組灌區取水之渠道編碼，利用此一編碼與渠道系統連結，如此一來即可進行灌區水源之溯源及渠道之受灌區分析。以圖 9 中之太子廟小組灌區區域為例，該小組之引水渠段編碼為 277，透過灌區與渠道系統之連結，可以查出渠段編碼 277 為大灣分線，經由渠道系統上下游關係，可從大灣分線往上溯源至烏山頭水庫，將可有效瞭解從烏山頭水庫至太子廟小組所流經之渠道名稱及長度、進而從渠道資料庫可查詢其輸水效率或內面工維修等資訊，進一步提昇灌溉管理之效能。

針對渠道資料後續擴充之彈性，目前渠道網路之編碼結構設計往往由於資料之新增，因而改變原有之渠段編碼及空間位相關係，使渠道系統之判釋、管理以及相關資料之累積與應用受到很大的影響與不便，因此在建立渠道空間資料結構時，必須考慮到未來渠道網路擴充或更新時之彈性。如圖 10 所示，原有渠段資料為 1、2、3、4、5，若今於渠段 3 上新增一渠段資料 6，則渠段 3 會被切斷成兩段，必須重新編碼，以往的編碼方式則將新的渠段編為 7 號，但是這樣的編碼方式會影響其他資料或破壞先前建立之空間位相，造成後續應用及管理維護上之困擾。因此本研究參考美國環保署之河段檔案(reach file)空間資料結構設計的概念(Dulaney, et al. 1990)，在資料結構

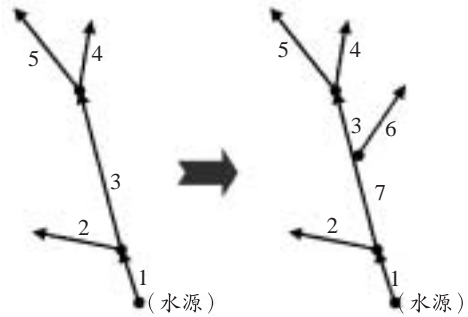


圖 10 目前水利會渠道之編碼方式

上設計一個預留資料新增的索引欄位，稱為「標記索引」(Maker Index, MI)，標記索引(MI)之概念可以圖 11 之西港分線為例說明之，圖 10(a)表示原本之渠道系統，若在西港分線上(編碼 217)新增一段西港中給水路，新增渠段之編碼為流水編號 279，但原先之西港分線之編碼 217 並不應新增渠道而改變，而新增渠段位置在編碼 217 之西港分線總里程百分比 33 處，因此被分割的西港分線下游渠段之 MI 欄位即設定為此總里程的百分比。這樣的編碼結構可在新增資料後仍保有原來渠段資料之空間關係與編碼，是一種有效管理空間位相關係的資料結構。

3-3 空間資料庫之屬性設計

在建立渠道空間資料之屬性資料庫時，除了

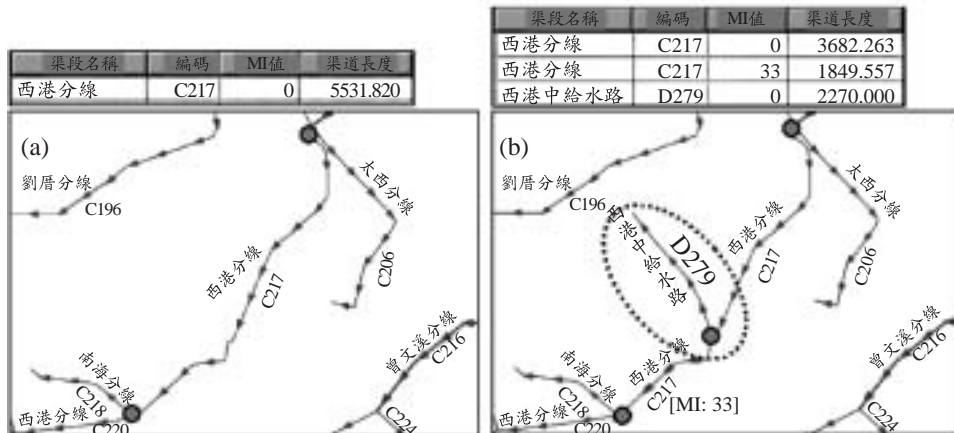


圖 11 採用 MI 之資料編碼方式

表 2 渠道資料庫之屬性欄位說明

欄位名稱	資料型態	欄位長度	欄位說明	代碼說明
F_node	數字	GIS 軟體預設值	渠段起始結點	
T_node	數字	GIS 軟體預設值	渠段終點結點	
Length	數字	GIS 軟體預設值	渠段長度 (m)	
Name	文字	30	渠段中文名稱	
CU	文字	4	水資源分區碼	本研究之水資源分區碼為"1101"，其中"11"為「嘉南水利會」；"01"為「曾文-烏山頭系統」
ArcID	文字	5	渠段流水編碼	以字首英文字母表示渠段分級，A：幹線；B：支線；C：分線
ArcMI	文字	2	資料修改標記索引	詳見 3-2 之說明
UpperID	文字	5	上游渠段流水編碼	詳見 3-2 之說明
UpperMI	文字	2	上游渠段修改標記索引	詳見 3-2 之說明

建立管理處、渠道分級、渠道中文名稱、渠道原始編碼、水資源分區碼等欄位，水資源分區碼之目的在於希望此編碼架構可適用於台灣之各個水利會，水資源分區碼為 4 碼，前 2 碼為水利會代碼(嘉南水利會為 11)，後 2 碼為水利會各獨立灌區之代碼(如曾文烏山頭灌區為 01)，後續建立空間資料後，又增加了網路線段起迄結點、線段長度、線段系統編碼等欄位，經編修整理後，渠段空間資料庫之屬性欄位說明如表 2 所示，其中 F_node 為渠段起始結點；T_node 為渠段終點結點欄位；Length 為渠段長度欄位，以上三個欄位為連結到 GIS 網路模擬的欄位；Name 為渠道中文名稱欄位，設定長度 30 位元，即 15 個中文字；CU 為水資源分區碼 4 碼，前兩碼為農田水利會

別，後兩碼為獨立灌區別；ArcID 為渠段流水編碼 5 碼，其中編碼字首英文字母表示渠段分級，例如，A 表示幹線，B 表示支線以及 C 表示分線等；ArcMI 為渠段新增標記碼 2 碼；UpperID 為該渠段之上游渠段的流水編碼；UpperMI 為上游渠段的標記碼，透過紀錄上游渠段編碼欄位以達到在資料庫中保有空間位相關的目的，圖 12 中所示為本研究建置渠道屬性資料庫之部分例。

四、灌溉系統之空間資料庫應用

為了驗證本研究所建立之渠道空間資料結構在後續灌溉管理業務上之適用性，本研究以 Visual Basic 程式語言與地理資訊元件 ESRI

Frnode	Toode	Length	Cu	Name	Acid	Acms	Uppest	Uppesti
2	1	571.290	1101	嘉南大圳北幹線	A1	0	3	0
2	3	1929.353	1101	崙子支線	B2	0	3	0
4	2	506.029	1101	嘉南大圳北幹線	A3	0	5	0
4	6	7746.310	1101	東石支線	B4	0	5	0
7	4	3759.299	1101	嘉南大圳北幹線	A5	0	16	0
7	9	1260.207	1101	新港支線	B6	0	16	0
9	5	2226.193	1101	新港支線	B7	0	6	0
9	10	252.845	1101	新港分線	C8	0	6	0
10	8	1018.442	1101	新港分線	C9	0	8	0
13	12	494.451	1101	洪厝分線	C10	0	14	0
13	11	883.547	1101	洪厝分線	C11	0	14	0
6	14	1650.008	1101	六興分線	C12	0	4	0
10	15	1201.840	1101	東新分線	C13	0	8	0
17	13	829.510	1101	洪厝分線	C14	0	18	0
17	16	1003.707	1101	大崙分線	C15	0	18	0
19	7	2616.523	1101	嘉南大圳北幹線	A16	0	26	0
19	18	2606.401	1101	菜公厝支線	B17	0	26	0
20	17	2092.915	1101	大崙分線	C18	0	22	0
20	22	2034.848	1101	大崙分線	C19	0	22	0
6	24	5891.279	1101	東石支線	B20	0	4	0
24	23	1201.667	1101	永興分線	C21	0	20	0
25	20	2836.075	1101	大崙分線	C22	0	27	0
25	21	1620.965	1101	北水分線	C23	0	28	0
25	27	636.112	1101	蔴坡支線	B24	0	28	0
27	28	2219.666	1101	三寮分線	C25	0	24	0
29	19	2270.105	1101	嘉南大圳北幹線	A26	0	35	0
29	25	1393.530	1101	蔴坡支線	B27	0	35	0
25	26	5336.661	1101	蔴坡支線	B28	0	27	0
32	30	1289.527	1101	崙子寮分線	C29	0	31	0
27	33	2252.010	1101	蔴坡支線	B30	0	24	0
34	32	4371.548	1101	崙子寮分線	C31	0	34	0
33	31	3399.228	1101	蔴坡分線	C32	0	30	0
32	35	1140.150	1101	蔴坡分線	C33	0	31	0
24	34	6035.419	1101	東石支線	B34	0	20	0
36	29	1975.601	1101	嘉南大圳北幹線	A35	0	55	0
36	37	6959.979	1101	蔴坡支線	B36	0	55	0

圖 12 建置完成之渠道屬性資料庫(例)

MapObjects，整合農田水利相關之地理資訊，包括水利小組、工作站等灌溉管理區域、灌溉網路系統、水工設施以及地籍坵塊等，建立灌溉管理空間資訊系統(如圖 13 所示)，並利用本研究之渠道空間資料結構發展渠道水源之溯源分析以及渠段下游受灌區域查詢介面。

(1) 溯源分析：

溯源分析係針對任一水利小組，系統透過小組取水口以及渠段之上下游空間位相關係，查詢該小組水源上游之輸配水路，包括幹線、支線或分線等渠段長度或名稱等資訊，如圖 14 中深灰色區域為點選的羊稠厝小組，粗黑線段的渠道路徑為該小組從岸內分線取水口，經由新營分線、新營支線、嘉南大圳北幹線至烏山頭水庫之溯源路徑；應用溯源分析加總各段渠道之長度與彙整

渠段維護狀況，進而可計算從水源處至某一小組之輸水損失，進行灌區輸配水效率之評估；或是某灌區發現從灌溉水源來的污染物時，亦可應用溯源分析追蹤可能是污染源排放之可疑渠段。

(2) 受灌區查詢：

受灌區查詢係針對任一渠段，由系統利用上下游之空間位相關係查詢該渠段下游之所有渠段，並透過灌區與渠道系統之連結，進一步獲取這些所有渠段所灌溉之區域以及灌區相關資訊，包括灌溉面積、作物制度等。如圖 15 之深灰色區域與粗黑線段的渠道路徑則分別表示白色分水門以下之受灌區域及渠段。受灌區查詢可應用於某一渠段受到污染後，查詢該渠段分水門下游可能受影響的區域，作為污染控制及污染採樣調查之參考。此外，當水利會需要安排損壞渠



圖 13 灌溉管理之應用系統



圖 14 渠道溯源分析

詳見 3-2 之說明

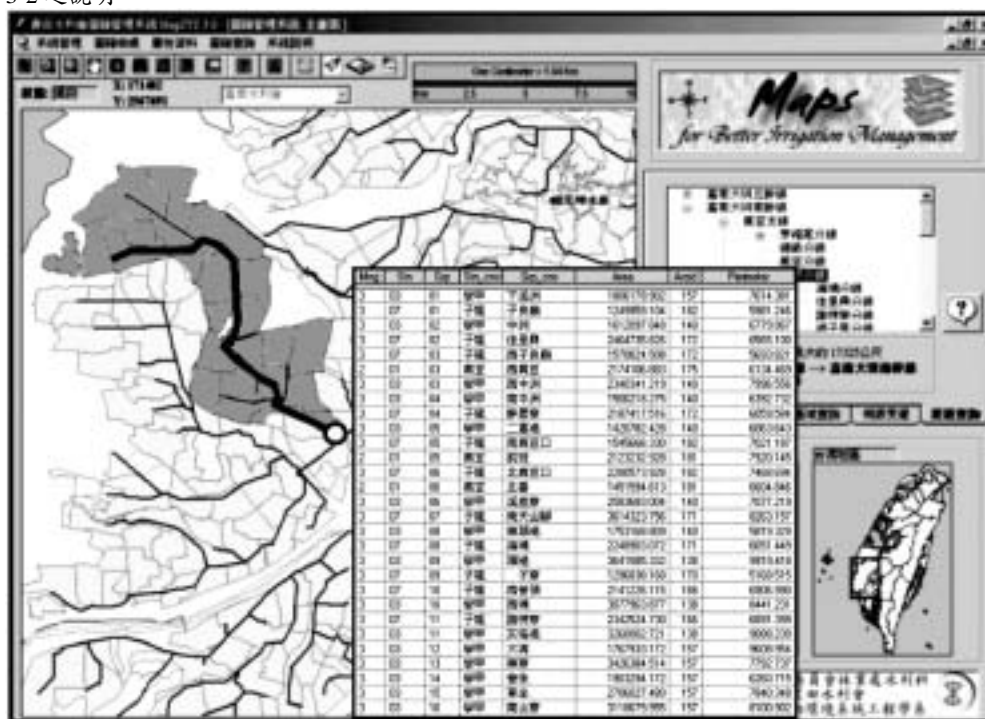


圖 15 受灌區域查詢

道之維修工程優先順序時，應用受灌區查詢，可瞭解每一損壞渠段維修後所能影響之灌溉區域，再透過評估各損壞渠段之維修工程所需工程費用，水利會則能夠妥善規劃各損壞渠段之維修時程。而在農田水利會進行乾旱時期之應變時，亦可透過受灌區域之分析，建立有效之休耕停灌等作業規劃。

五、結論與建議

空間資料庫在設計上所面臨之挑戰為資料之收集、儲存的完整性以及後續資料更新、維護等議題，在以往地理資訊之建置經驗中亦可發現許多資料庫因資料完整性不足而無法滿足後續研究之需求，或是因資料庫資料結構不完善以至於因資料更新而改變資料結構或索引資料，導致與先前研究成果無法連結等問題，許多已建構之地理資料庫僅能提供單一研究，因此常發生後續之研究因基礎資料不完整，而必須重新自行建構新的地理資料庫之困境。有鑑於此，本研究所提

出之樹狀輸送網路空間資料庫架構不僅具有易於更新、修改的能力，並在資料更新後依舊保持各渠段原本的編碼與索引資料作為後續相關應用之依據，除可解決上述資料庫技術的問題，並具備可依照實際應用需要逐漸增補資料、修改錯誤或加大地理資料之空間解析度、擴大延伸資料區域範圍等能力，也增加了渠道網路地理資料庫使用上的多元性。

本研究為探討樹狀輸送網路空間資料庫之架構，研討現有渠道數值資料之問題、資料結構之編碼原則、空間位相關係建立等層面，以嘉南農田水利會之曾文-烏山頭灌溉系統為研討區域，建立一樹狀輸送網路地理資料庫之結構，完成包括空間資料建置、空間資料結構探討、資料編碼、屬性資料庫之設計與建立、點線網路應用等課題之研討。研究中所建立之渠道網路地理資料庫結構，除了原研討區域外，亦可適用於其他水利會之渠道系統，研究中所建立之渠道地理資料庫應用雛形展示了渠道地

理資料庫在未來水利會各項管理業務中所扮演重要角色之可能性。以下將針對本研究之結果建議後續研討方向。

為使所建立之渠道地理資料庫能夠應用於渠道輸配水管理中，本研究中已建立渠道系統與所屬灌區之間的連結，完成渠道與灌區之間進行溯源及受灌分析時所需要的空間位相，但後續尚需進一步建立水工結構設施(例如：跌水工、分水門等)與渠道系統之關係，進行相關輸配水設施之管理，未來可應用動態分段(dynamic segmentation)之概念，利用一般現地工程人員熟悉之樁號及里程的概念，透過路徑系統、量度定位等地理資訊系統之網路概念以及多類別關連性資料表事件記錄方式(Dulaney, R. A., et. al, 1990)，所建立之灌溉系統可完全整合灌溉水源、渠道系統、水工設施以及灌區等，提昇灌溉設施維護管理、用水調配決策資訊化之能力。

在水資源之應用領域中，除了灌溉渠道之輸水系統外，另一種重要的樹狀輸送網路為天然河川水系或人工排水系統網路。灌溉渠道系統因為是人工建造的，因此在渠道斷面、水力、沿線結構等資料還算完整，且有較清楚的編號、命名、樁號編定等資料；而對於天然河川水系或排水網路，此方面資料之建置、收集相當缺乏，後續亦可對於天然河川河段以及排水系統網路的編碼、命名系統及記載其沿線資料的空間資料庫進行整體性之研討(Melville, M. D, et. al., 1997)；若能夠完整掌握水資源之樹狀輸送網路系統(包括人工渠道及天然河川等)的空間結構，將更有助於水資源管理決策上之效能。

參考文獻

1. 曾釋賢(2000). “地理資訊系統於灌溉計畫擬定之應用研究”. 國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
2. 譚智宏、陳美華(2001). “台灣地區農田水利會圖籍資料庫系統建置之研究”，農田水利科技發展專案計畫成果發表會論文集。
3. 蘇明道(1998). “農田水利會圖籍資料庫系統之建置”，行政院農業委員會研究計畫報告書：87科技-1-林01(1)。
4. Choi, K.; Jang, W. (1998) “Transit Network Development from Arc-Node Based Topological Highway Network via Spatial Analysis and Dynamic Segmentation.” *Proceedings of the 1998 GIS-T Symposium-Integrating the Transportation Business Using GIS*.
5. Djokic, D., and Maidment, D. R. (1993). “Application of GIS Network Routines for Water Flow and Transport.” *J. Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No. 2.
6. Dulaney, R. A., and Hewitt, M. J., III. (1990). *Commencement Bay GIS demonstration project*. U.S. Envir. Protection Agency-Envir. Monitoring System Lab., Las Vegas, Nev., 51.
7. Lupien, A. E., Moreland, W. H., and Dangermond, J. (1987). “Network analysis in geographic information system.” *J. Photogramm. Engrg. And Remote Sens.*, 53(10), 1417-1421.
8. Melville, M. D.; Zhou, Q.; Yang, Xi. (1997). “GIS Network Model for Floodplain Water Resource Management” *Proceedings of GIS AM/FM ASIA '97 and Geoinformatics '97 Conference*, 821-830.

收稿日期：民國 93 年 3 月 15 日

修正日期：民國 93 年 6 月 24 日

接受日期：民國 93 年 7 月 2 日