

國立交通大學

交通運輸研究所

博士論文

No. 049

防震災存活路網設計模型

Survivable Network Design Model for Earthquake Disaster



研究生：侯鵬曦
指導教授：徐淵靜

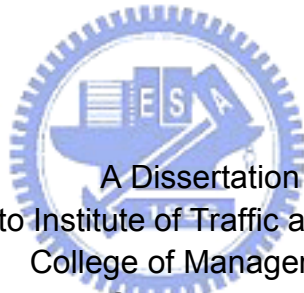
中華民國九十五年十二月

防震災存活路網設計模型
Survivable Network Design Model for Earthquake Disaster

研究生：侯鵬曦
指導教授：徐淵靜

Student: Peng-Hsi Hou
Advisor: Yuan-Ching Hsu

國立交通大學
交通運輸研究所
博士論文



A Dissertation
Submitted to Institute of Traffic and Transportation
College of Management
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Doctor of Philosophy
in
Management

December 2006
Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年十二月

防震災存活路網設計模型

學生：侯鵬曦

指導教授：徐淵靜

國立交通大學交通運輸研究所

摘 要

防災路網是防災城市的重要空間系統，因此防災路網之設計原理，乃是一重要議題。本研究針對震災特性，提出評量防災道路之空間防災性、路段關鍵性等方法，並應用存活路網理論來發展整體防災路網模型，設計目標為可靠、快捷、與全面。最短路徑森林路網、系統繞路路網、及互援路網，將此三種模型整合於存活路網模型。該模型具有諸多優勢；最短路徑森林確保責任分區內救援單位至災害需求地點的路徑最短；系統繞路則容忍區內路段遭受災害毀損而仍維持救援單位至區內所有需求場所的成本最小；互援路網構成區間橋接路徑以連結外部資源，提供區間救援單位相互備援的保障。最後本研究透過Java技術實作此存活路網模型，並提出棋盤式測試路網，以進行雙供給均勻需求分佈之情境模擬，結果發現，供給點彼此逐漸遠離時，平均旅行成本趨勢下降，繞路成本陡降漸緩，互援成本逐漸增加，而路網成本初期變幅明顯，而後漸減收斂。

關鍵字：存活路網、災害、繞路、連結度



Survivable Network Design Model for Earthquake Disaster

Student: Peng-Hsi Hou

Advisor: Dr. Yuan-Ching Hsu

Institute of Traffic and Transportation
National Chiao Tung University

Abstract

Disaster-prevention network is a crucial system in a disaster prevention city. Therefore, how to establish design principles for the network becomes an important issue. In this paper, we proposed the method to assess the spatial performance and the importance against disasters in individual road sections. In the viewpoint of comprehensive network, we proposed the network design model with respect to the characteristics of earthquake disaster based on survival network theories. The design goals are to achieve features of rapidity, connectivity, and efficiency. Three network models: Shortest Path Forest Network (SPFN), Systematic Detour Network (SDN), and Mutual Assistance Network (MAN), are developed and integrated in the survivable network model. The proposed survivable network for earthquake disaster has significant advantages. The SPFN promises the shortest path within the responsible territories. The structure of SDN assures the network connectivity wherever any road link fails. The bridges of MAN let the supply units in different territories connect to each other hence insufficient self-capacity of one supply may be allowed. Finally the survivable network model was implemented with Java technology. And a case in a test network of grid pattern was given to show the features in the scenario of evenly scattered demand areas with two supply resources. It was found that where the two resources were increasingly separating from each other, the average travel cost steadily decreased; detour cost dropped dramatically and then declined slowly; mutual assistance cost gradually increased; network cost seriously varied in the initial stage, but converged to a gently decreasing trend afterwards.

Keywords: Survivable network, disaster, detour, connectivity

誌 謝

漫長的日子裡，本論文得以順利付梓，要感謝的人很多。首要感謝指導教授徐淵靜老師，在研究過程中給予我的諸多支持與鼓勵。並感謝陳武正老師、羅啟源老師、林峰田老師、錢學陶老師、馮正民老師、汪進財老師等口試委員提供我諸多寶貴意見，使本論文更加完整。感謝求學期間所內的藍武王老師、黃承傳老師、黃台生老師、許鉅秉老師、曾國雄老師、溫傑華老師給予的珍貴教誨，修業期間台大數研所張鎮華教授的教導，投稿期間指正建言的M.G.H. Bell教授、賞識本研究貢獻的林國峰教授。以及博班學長姐們、同學輝煌、銘德、明智、淑美、曾董，以及彥蘅、亦姝、昱凱、益三、易詩、Jacky、永祥，國科會研究夥伴們，陳苑惠老師、孟慧、高桂、岳德、容禎、兆鉅、青峰、侯之，還有叮嚀生活細節的所辦洪小姐、柳小姐、何小姐，協助諸多出國事項的研發處陳善理小姐，每個人對我的幫助，都是砌疊此論文的重要基石。

求學期間，受資策會副執行長黃國俊博士的提攜，尤為感謝。此期間也讓我認識了不可多得的貴人，資工所朱海燕副所長對我積極鼓勵，紀舜、駿逸、立豪、濠瑞等好友，使我對資訊工程的認識更加深入而廣泛，產支處何文雄處長給我的箴言與肯定，Frances、賢書、宜葶、書彥、惠敏、培燕、Sophia、Luke、羅姐、簡大哥，生活的歡笑煩惱，一路陪我走過論文的最終時光；此外，部長宗承、玟如，是我碩士畢業後少數仍持續聯繫的學弟妹，以及部長的大學好友俊逸工程師，謝謝他有興趣一起研究程式。

最後感謝陪伴我數十年的、親愛的家人與關心我的摯友。

十二月 · Percy · 三重





目 錄

| | |
|------------------------|-----------|
| 摘 要..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| 誌 謝..... | III |
| 目 錄..... | V |
| 表目錄..... | VIII |
| 圖目錄..... | IX |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景與動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 1 |
| 1.3 研究方法..... | 2 |
| 1.3.1 研究理論..... | 2 |
| 1.3.2 研究工具..... | 3 |
| 1.4 研究內容..... | 3 |
| 1.4.1 研究架構..... | 3 |
| 1.4.2 章節安排..... | 4 |
| 第二章 文獻回顧..... | 5 |
| 2.1 防災實務相關研究..... | 5 |
| 2.1.1 都市防災系統..... | 5 |
| 2.1.2 防災據點..... | 5 |
| 2.1.3 防災路網..... | 6 |
| 2.1.4 綜合評析..... | 7 |
| 2.2 防災評估相關研究..... | 7 |
| 2.2.1 道路評估相關指標..... | 7 |
| 2.2.2 路網評估相關指標..... | 8 |
| 2.2.3 綜合評析..... | 10 |
| 2.3 路網模型相關研究..... | 10 |
| 2.3.1 最短路徑..... | 10 |
| 2.3.2 繞徑問題..... | 11 |
| 2.3.3 存活路網..... | 13 |
| 2.3.4 綜合評析..... | 16 |
| 第三章 防災路網分析..... | 17 |
| 3.1 問題陳述..... | 17 |
| 3.1.1 現況問題..... | 17 |
| 3.1.2 課題探討..... | 18 |
| 3.2 地震與防災路網..... | 19 |
| 3.3 防災路網系統之組成..... | 20 |
| 3.4 防災路網系統之功能..... | 21 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 3.4.1 需求面..... | 22 |
| 3.4.2 供給面..... | 22 |
| 3.4.3 可控制的路線系統..... | 22 |
| 3.5 防災路網系統之架構..... | 23 |
| 3.5.1 功能架構..... | 23 |
| 3.5.2 系統架構..... | 24 |
| 第四章 防災道路評估..... | 27 |
| 4.1 防災道路關鍵性評估..... | 27 |
| 4.1.1 評估方法..... | 27 |
| 4.1.2 路網規模..... | 27 |
| 4.1.3 評估指標..... | 28 |
| 4.1.4 指標演算..... | 28 |
| 4.2 防災道路空間性評估..... | 29 |
| 4.2.1 評量架構..... | 29 |
| 4.2.2 道路空間評估指標..... | 30 |
| 第五章 防災存活路網建構..... | 33 |
| 5.1 責任分區路網模型..... | 33 |
| 5.1.1 責任分區之定義..... | 33 |
| 5.1.2 責任分區之陳述..... | 34 |
| 5.1.3 責任分區之原理..... | 35 |
| 5.1.4 責任分區之演算法..... | 37 |
| 5.2 系統繞路路網模型..... | 39 |
| 5.2.1 系統繞路之定義..... | 39 |
| 5.2.2 系統繞路之陳述..... | 39 |
| 5.2.3 系統繞路之原理..... | 40 |
| 5.2.4 系統繞路之演算法..... | 42 |
| 5.3 互援路網模型..... | 42 |
| 5.3.1 互援路網之定義..... | 42 |
| 5.3.2 互援路網之陳述..... | 43 |
| 5.3.3 互援路網之原理..... | 44 |
| 5.3.4 互援路網之演算法..... | 45 |
| 5.4 防災存活路網評估模式..... | 46 |
| 5.4.1 防災存活路網模型..... | 46 |
| 5.4.2 防災存活路網評估指標..... | 46 |
| 5.4.3 防災存活路網之綜合評估..... | 47 |
| 第六章 防災存活路網程式..... | 49 |
| 6.1 路網結構..... | 49 |
| 6.1.1 資料結構..... | 49 |
| 6.1.2 圖形的表示方法..... | 50 |
| 6.1.3 統一塑模語言的圖形元素..... | 53 |
| 6.2 責任分區..... | 56 |



| | |
|---------------------------|------------|
| 6.2.1 演算概念..... | 56 |
| 6.2.2 演算流程..... | 56 |
| 6.3 系統繞路..... | 57 |
| 6.3.1 演算概念..... | 57 |
| 6.3.2 演算流程..... | 57 |
| 6.4 互援路網..... | 58 |
| 6.4.1 演算概念..... | 58 |
| 6.4.2 演算流程..... | 58 |
| 6.5 路網範例與操作..... | 59 |
| 6.5.1 路網構建..... | 59 |
| 6.5.2 應用操作..... | 63 |
| 第七章 棋盤式路網特性分析..... | 67 |
| 7.1 測試路網..... | 67 |
| 7.2 供需點情境設計..... | 69 |
| 7.3 測試路網之設計結果..... | 71 |
| 7.4 綜合建議..... | 76 |
| 第八章 結論與建議..... | 77 |
| 8.1 結論..... | 77 |
| 8.2 建議..... | 79 |
| 參考文獻..... | 81 |
| 附錄一 模擬數據結果..... | 87 |
| 附錄二 路網範例..... | 91 |
| 附錄三 程式碼..... | 101 |
| 個人簡歷..... | 235 |



表目錄

| | |
|------------------------|----|
| 表6.1 圖形表示法比較 | 52 |
| 表6.2 圖的方法..... | 53 |
| 表6.3 點的方法..... | 54 |
| 表6.4 邊的方法..... | 55 |
| 表7.1 棋盤式測試路網之點資料 | 67 |
| 表7.2 棋盤式測試路網之邊資料 | 68 |
| 表7.3 雙供給點情境設計 | 70 |



圖目錄

| | |
|-----------------------|----|
| 圖1.1 研究架構..... | 4 |
| 圖2.1 防災據點功能..... | 6 |
| 圖3.1 防災路網系統之組成..... | 21 |
| 圖3.2 防災路網之供需架構..... | 23 |
| 圖3.3 防災路網之功能架構..... | 24 |
| 圖3.4 防災路網之系統架構..... | 25 |
| 圖4.1 防災路網之設計規模..... | 27 |
| 圖4.2 關鍵性指標演算流程..... | 28 |
| 圖4.3 道路空間解構..... | 30 |
| 圖4.4 防災道路空間之評量架構..... | 32 |
| 圖5.1 防災路網模型架構..... | 33 |
| 圖5.2 最短路徑樹符號定義..... | 34 |
| 圖5.3 簡理一..... | 35 |
| 圖5.4 簡理二..... | 36 |
| 圖5.5 責任分區演算法概念..... | 38 |
| 圖5.6 系統繞路模型..... | 41 |
| 圖5.7 防災路網結構..... | 43 |
| 圖5.8 互援路網原理..... | 44 |
| 圖6.1 單連列..... | 49 |
| 圖6.2 雙連列..... | 49 |
| 圖6.3 路網範例..... | 50 |
| 圖6.4 邊集和..... | 50 |
| 圖6.5 鄰接集合..... | 51 |
| 圖6.6 鄰接矩陣..... | 51 |
| 圖6.7 圖形類別..... | 53 |
| 圖6.8 點類別..... | 54 |
| 圖6.9 邊類別..... | 55 |
| 圖6.10 責任分區之演算流程..... | 56 |
| 圖6.11 系統繞路之演算流程..... | 57 |
| 圖6.12 互援路網之演算流程..... | 58 |
| 圖6.13 點資料之輸入界面..... | 59 |
| 圖6.14 點資料轉檔方式..... | 60 |
| 圖6.15 邊資料之輸入界面..... | 61 |
| 圖6.16 邊資料轉檔方式..... | 62 |
| 圖6.17 點邊資料輸入..... | 63 |
| 圖6.18 供需點設定方式..... | 64 |
| 圖6.19 路網演算結果..... | 65 |
| 圖6.20 專家意見之輸入介面..... | 66 |
| 圖7.1 邊集合表示法..... | 67 |
| 圖7.2 棋盤式測試路網..... | 69 |
| 圖7.3 ATC之趨勢..... | 71 |

| | |
|--------------------|----|
| 圖7.4 MTC之趨勢 | 72 |
| 圖7.5 LD之趨勢 | 73 |
| 圖7.6 AMAC之趨勢 | 74 |
| 圖7.7 NC之趨勢 | 75 |

