

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

通訊網路路徑中復機制與備援頻寬配置之研究

Path Restoration and Spare Capacity Allocation for Communications Network

計畫編號：NSC 90-2416-H-009-016

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：羅濟祥

國立交通大學資訊管理研究所

計畫參與人員：莊秉力

國立交通大學資訊管理研究所

一、口之摘要

在高速網路中，為了避免傳輸服務因網路障礙受到影響，可利網路復機制做為解決方案；此外，備援頻寬的備置亦是保障網路存活度的重要因素。本研究著重於網狀網路的網路復機制進行探討，特別針對動態的傳輸需求，提出適當的備援頻寬保留與准許控制以保障網路存活度，並進行必要的數值運算以驗證該解決方案的效能。本研究的成果可做為保障動態傳輸需求之網路存活度的參考。

關鍵詞：備援頻寬保留、網路存活度

Abstract

In high-speed networks, a network failure such as an optical link cut can cause a large loss of data. We survey the restoration schemes for mesh-like networks. First, we emphasize on restoration mechanism, backup capacity reservation, and survivability admission control issues. Then we make computational experiments on these mechanisms. Finally, we conclude our results for suggestion and future researches.

Keywords: Backup Capacity Reservation, Survivability

二、計畫緣由與目的

隨著網路傳輸技術的進步，網路的障礙管理在近幾年來以慢慢受到重視。多數針對網路復機制與備援頻寬備置的相關研究集中於靜態的網路設計問題，而較少著眼於保障動態傳輸需求的備援頻寬保留問題。因此本研究特別針對動態的傳輸需求，提出保障其網路存活度的解決方案，期能作為建構可復式網路時的參考。

本研究計畫的目的，在於提供傳輸頻寬較大的高速網路中，保障動態傳輸需求之存活度的解決方案。首先我們以網路復機制為出發點，提出適當且有效的網路復機制，並設計對應的備援頻寬保留與准許控制機制，以保障動態傳輸服務在單一連線障礙發生時，具有 100% 的存活度；備援路徑的選擇與備援頻寬的使用效能直接相關，除了提出有效節省備援頻寬的路徑方法外，對於多重障礙發生的狀況下，我們亦提出適當的備援路徑選擇方法以提高網路存活度。最後我們進行必要的數值運算來驗證相關解決方案的可行性與效能；本研究中提出的相關機制與研究方法，期能提供國內外相關領域作為參考。

三、結果與討論

本年度的研究計劃中，我們規劃探討網狀網路的網路復機制，並針對動態傳

輸需求提出保障鏈路活度的解決方案，並已獲得顯著的研究成果。鏈路中復機制與障礙管理的相關議題在近年來慢慢受到重視，本研究首先針對相關的中復機制進行探討，選擇適當且有效的中復機制；我們特別針對備援頻寬保留的問題進行研究；為了保障動態傳輸服務的存活度，本研究提出對應的備援頻寬保留機制與准許控制機制等做為解決方案。

(一) 鏈路中復機制的探討

鏈路中復的主要精神在於將受影響的傳輸服務轉換至不同的傳輸路徑，其方式可分類為連線中復(link restoration)與路徑中復(path restoration)，其中路徑中復多半能夠滿足連線中復的需求並具有較高的效能。在中復機制方面，W. D. Grover 學者所提出動態搜尋中復路徑的方法，可解決多種障礙類型並且具有較大的彈性；而 R. Kawamura 則提出事先安排備援路徑的中復機制，能在既定的障礙類型下有效保障鏈路存活度，並提供快速的路徑中復。

A. Gersht 學者針對鏈路的動態傳輸需求提出鏈路中復機制與備援頻寬備置的架構。如圖 1 所示，適當的傳輸路徑與備援路徑在傳輸需求發生前先行搜尋，在傳輸需求發生時，准許控制機制依照鏈路狀態驗證鏈路頻寬與相關資源是否足夠保障該需求的存活度，並從眾多的傳輸路徑與備援路徑中選擇適當的路徑組合供傳輸需求使用與備援；備援頻寬必須事先保留以保障鏈路存活度，而當障礙發生時，事先安排的備援路徑與已保留的備援頻寬可有效且迅速中復受影響的傳輸服務。

在本研究的規劃下，動態傳輸需求利用 A. Gersht 所提出的架構與 R. Kawamura 的備援路徑中復機制可有效保障存活度並提供快速的路徑中復，我們進一步探討相關機制作為整體性的解決方案。

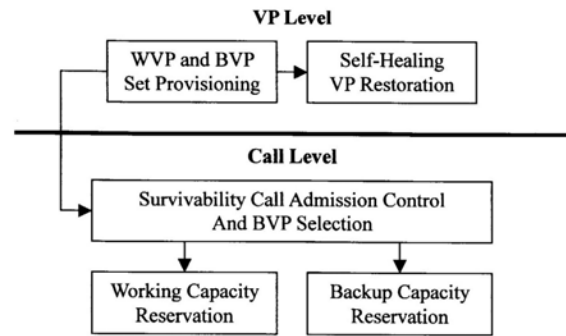


圖 1 動態傳輸需求之路徑中復與頻寬保留架構

(二) 備援頻寬的配置與保留

備援頻寬是鏈路中復機制是否能有效進行的重要因素。備援頻寬的配置是靜態的鏈路設計問題，為已知的傳輸服務提供足夠的備援頻寬，增加的備援頻寬必須事先設置於適當的連線上；對於動態的傳輸服務，由於動態新增頻寬較為費時且困難，如何從已存在的頻寬中保留足夠的備援頻寬，才是保障存活度的方法。

無論是備援頻寬的配置或保留，一味地備置大量的備援頻寬亦是提高成本與浪費資源的作法。就一般狀況而言，備援頻寬的備置問題可使用線性規劃模式來找尋對於中復既定鏈路障礙類型的最佳解。本研究針對備援頻寬保留問題規劃出整數規劃模式，對於具有 L 條連線的鏈路，保障所有傳輸服務 f^p 所需在連線 i 保留的備援頻寬 x_i 以及選擇的備援路徑 α^{pq} 如下：

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^L x_i \\ & \text{subject to} \\ & x_i - \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^{Q^p} (f^p \cdot \delta_{ij}^{pq} \cdot \alpha^{pq}) \geq 0, 1 \leq i \leq L, 1 \leq j \leq L; \\ & (\delta_{ij}^{pq} \text{ 當傳輸路徑 } p \text{ 經過連線 } j \text{ 且其備援路徑 } q \text{ 經過連線 } i \text{ 為 } 1; \text{ 反之為 } 0) \\ & \sum_{q=1}^{Q^p} \alpha^{pq} = 1, 1 \leq p \leq P; \\ & x_i \leq s_i, 1 \leq i \leq L; (s_i \text{ 表連線 } i \text{ 上未使用的頻寬}) \\ & x_i \text{ is an integer;} \\ & \alpha^{pq} = 0 \text{ or } 1, 1 \leq p \leq P, 1 \leq q \leq Q^p. \\ & (\alpha^{pq} \text{ 當傳輸路徑 } p \text{ 選擇備援路徑 } q \text{ 作為其預設的中復路徑為 } 1; \text{ 反之為 } 0) \end{aligned}$$

□

雖然上面所述之整數規劃模式能夠用以找尋備援頻寬保留的最佳解，但由於該模式本屬於難解 *NP-hard* 問題，除了在實驗階段用來驗證備援頻寬保留機制的效能外，並不適於在網路運作時動態尋解。

(三) 備援頻寬保留機制與准許控制機制

本研究以 A. Gersht 所提出的網路中復機制與架構為基礎，提出相關機制，包括備援頻寬保留、備援路徑選擇方式、以及保障網路存活度的准許控制等，成為完整的解決方案，茲分述於下：

A. 備援頻寬保留

為了保障傳輸服務在單一連線障礙下具有 100% 的存活度，並有效使用備援頻寬，我們利用所謂的備援相關矩陣記錄每條連線對於每個障礙所需提供的最低備援頻寬，並保留該頻寬來保障網路存活度。由於在單一連線障礙下，障礙不會同時發生，因此不同的備援路徑可以共享其所需的備援頻寬。假設 e_{ij} 表備援相關矩陣的元素，動態記錄著連線 j 發生障礙時連線 i 所需要之最小備援頻寬，因此連線 i 所需要保留的備援頻寬 x_i 如下所示：

$$x_i = \max_j e_{ij}, \quad j = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, n.$$

使用備援相關矩陣進行備援頻寬的保留能有效保障網路存活度並節省網路資源，更適用於一般網狀網路。

B. 備援路徑選擇

本研究運用前面所提出的備援相關矩陣，分別針對網路資源的效能與網路存活度作為考量，提出兩種備援路徑選擇方式：

• 最小成本(min-cost)選擇

為了節省備援頻寬，對於新的傳輸需求，可選擇所需保留的備援頻寬量為最小之路徑作為其預先配置的備援路徑。假設新需求的傳輸路徑已知，對於每個備援路徑 q ，可先計算使用該備援路徑後各連線 i 所需要的備援頻寬 x_i^* ，而備援頻寬保留成

本(backup capacity reservation cost, BCRC)可定義為：

$$BCRC_{B_q} = \sum_{b \in B_q} (x_b^* - x_b).$$

(B_q 表備援路徑 q 所經過的連線集合)

在頻寬足夠的條件下，具有最小 BCRC 之路徑將指派給新傳輸需求作為備援路徑。

當傳輸需求之傳輸路徑可透過本路徑選擇機制來決定，頻寬保留成本亦可將傳輸路徑所需要的頻寬加入考量(combined min-cost)，而具有最小成本的傳輸路徑與備援路徑組合將指派給新的傳輸需求。

• 最小期望值(min-expectation)選擇

相對於最小成本的備援路徑選擇，最小期望值的選擇方式目的在於提高多重障礙發生時的網路存活度。為了提高網路存活度，對於每個備援路徑，可計算出障礙發生時無法中復之傳輸服務期望值，而具有最小期望值的路徑則選派給新的傳輸需求。以兩條連線之多重障礙為例，當備援路徑 q 無法中復時，此時受影響而無法中復的傳輸服務期望值為：

$$E_{B_q} = \sum_{b \in B_q} \sum_{w \in W_p} ((e_{bw} + f^p) + e_{wb}) P_{bw}.$$

(W_p 表傳輸路徑 p 的連線集合， P_{bw} 表連線 b 與 w 同時障礙的機率)

若是傳輸路徑的選擇亦可透過本選擇機制決定，具有最小期望值的傳輸路徑與備援路徑組合將指派給新的傳輸需求(combined min-expectation)。

C. 保障網路存活度的准許控制機制

本研究提出適當的准許控制機制，將相關的備援頻寬保留機制與備援路徑選擇方式進行整合；本准許控制機制首先對於備援相關矩陣進行初始化動作，對於新的傳輸需求，根據不同的路徑選擇方式指派新的傳輸路徑與備援路徑，並驗證網路頻寬是否足夠進行傳輸頻寬與備援頻寬的保留。其運作流程如圖 2 所示：

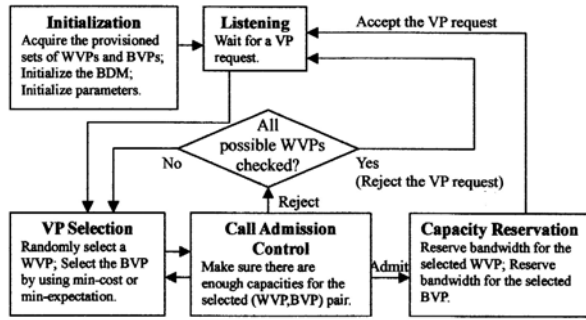


圖 2 保障網路存活度之准許控制機制運作流程

(四) 實驗與分析

本研究針對若干網路拓樸(見圖 3)進行數值模擬與分析,以驗證相關機制之有效性與效能;為了檢驗實驗結果與比較不同的路徑選擇機制,我們定義評量參數如下:

1. 平均備援頻寬使用量(ABCC): 為所有連線所保留的備援頻寬總量除以接受的傳輸需求數量。
2. 網路存活度(NS): 模擬所有單一連線障礙、2 條連線障礙、3 條連線障礙的存活度平均值。

為了比較不同的路徑選擇機制,我們同時使用隨選機制(random)作為比較,相關的實驗數據如表一。由實驗結果得知,運用備援相關矩陣能在一般網狀網路下有效進行備援頻寬保留,並保障單一連線障礙下具有 100% 的網路存活度。而在備援路徑選擇的效能上,最小成本的備援路徑選擇具有最小的平均備援頻寬使用量,同時才能接受較多的傳輸需求;而最小期望值的備援路徑選擇能在多重障礙發生時保持較高的網路存活度。當傳輸路徑可同時透過路徑選擇機制選取時(如 combined min-cost 與 combined min-expectation 機制),多半能夠產生最佳的效能。

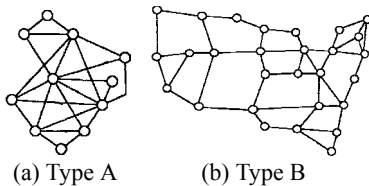


圖 3 實驗網路拓樸

表一 備援路徑選擇機制的比較

(a) Type A

| strategy | metrics | | No. of admitted VPs | | ABCC | | NS | | | | | |
|-------------------|---------|-----|---------------------|------|------|-----|----------------|----------------|-----|----------------|----|--|
| | | | | IR | | IR | 1-link failure | 2-link failure | IR | 3-link failure | IR | |
| random | 337 | - | 1.042 | - | 100% | 68% | - | 50% | - | | | |
| min-cost | 366 | 8% | 0.759 | -27% | 100% | 69% | 2% | 52% | 5% | | | |
| combined min-cost | 462 | 37% | 0.703 | -33% | 100% | 65% | -3% | 48% | -4% | | | |
| min-exp | 356 | 6% | 0.859 | -18% | 100% | 83% | 23% | 70% | 40% | | | |
| combined min-exp | 388 | 15% | 0.9 | -14% | 100% | 84% | 25% | 72% | 43% | | | |

(b) Type B

| strategy | metrics | | No. of admitted VPs | | ABCC | | NS | | | | | |
|-------------------|---------|-----|---------------------|------|------|-----|----------------|----------------|-----|----------------|----|--|
| | | | | IR | | IR | 1-link failure | 2-link failure | IR | 3-link failure | IR | |
| random | 515 | - | 1.357 | - | 100% | 81% | - | 68% | - | | | |
| min-cost | 538 | 4% | 1.018 | -25% | 100% | 79% | -2% | 66% | -3% | | | |
| combined min-cost | 587 | 14% | 0.97 | -28% | 100% | 77% | -6% | 62% | -9% | | | |
| min-exp | 528 | 3% | 1.151 | -15% | 100% | 86% | 5% | 75% | 10% | | | |
| combined min-exp | 532 | 3% | 1.231 | -9% | 100% | 87% | 7% | 77% | 13% | | | |

本研究所提出機制能在極短時間內指派備援路徑並進行准許控制,是保障動態傳輸需求之存活度的有效解決方案,本研究的路徑選擇機制在大部分的狀況下都優於隨選機制以及其他常見的路徑選擇機制(如最短路徑),由於網路的成本效能以及網路存活度多半難以兼顧,依照需求選擇適當的路徑選擇機制才是最佳的實作考量。

五、計畫成果自評

目前國內外對於網路中復機制與備援頻寬備置的相關研究,多半是針對靜態的傳輸服務中復或集中於網路設計階段的頻寬配置問題,本研究特別針對動態傳輸需求,規劃出適當的中復機制、備援頻寬保留、准許控制機制等,並根據不同的需求設計適當的備援路徑選擇機制;如在本計畫初期的規劃,我們以保障網路存活度的准許控制機制為核心,使用快速且有效的備援頻寬保留機制與備援路徑選擇方式,作為保障動態傳輸需求之存活度的整體解決方案。本研究的研究方法與相關成果對於相關領域的研究與實作,提供可行的方針與參考。

五、參考文獻

- [1] Chi-Chun Lo and Bin-Wen Chuang, "An Adaptive Survivability Admission Control Mechanism Using Backup VPs for Self-Healing ATM Networks," *Proc. ISCC*, 2002.