

# 基於網路環境影像保護機制抉擇之研究

黃毓芳  
淡江大學  
enidken@  
hotmail.com

莊凱博  
淡江大學  
chuangkay@  
gmail.com

李維聰  
淡江大學  
wtlee@  
mail.tku.edu.tw

孫天文  
中山科學研究院  
qoosuntw@  
hotmail.com

## 摘要

近年來，由於網際網路的快速發展，使得多媒體網路的應用越來越普及，而隨著人們對多媒體影音的使用需求增加，影像的品質與即時性將更顯重要，因此在未來，影像串流的服務在影像傳輸上將扮演著舉足輕重的地位。

前向錯誤修正機制(Forward Error Correction, FEC)是一個常見的封包保護機制，此機制可以藉由添加在原始封包後面的冗餘封包，來修復在傳輸過程中掉落的封包。然而，前向錯誤修正機制會增加更多的頻寬消耗，造成網路更加壅塞。且在遭遇到連續性的封包遺失時，此機制的封包保護程度將大大地降低。因此在本篇論文中，將提出一個機制，依據封包掉落率及封包連續掉落長度，決定是否使用 FEC 機制、或是使用交錯式 FEC 去做封包的保護，如此我們便能在影像品質與頻寬消耗，兩者的相互取舍下取得一個較佳的平衡。

**關鍵詞：**FEC、交錯式 FEC

## 1. 前言

由於網際網路的普及，加上通訊網路技術的大幅發展，多媒體影音服務已成為人們生活中不可或缺的一部分。然而，在動態的網路環境下，頻寬的大小變得很不穩定。面對這樣不確定的頻寬大小時，如何能消耗較少的頻寬以維持網路傳輸的穩定，並且同時保有完整的影像品質，成為一個重要的議題。

串流技術[3][4]的出現，使得網路多媒體可以達到即時性的播放，滿足了人們對於影像傳輸速度上的要求。然而在影像傳輸的過程中，勢必將遭遇到封包掉落的情況，為了保護封包使其不受封包掉落的影響，避免產生破圖破壞影像的完整性，因此有了前向錯誤修正機制(FEC)的出現。

前向錯誤修正機制是一個封包的保護機制。此機制是將冗餘封包(Redundant Packets)附加於原始封包(Main Packets)的後面，冗餘封包的內容即是一些封包的修復數據，因此，當影像在傳輸過程中遭遇到封包遺失時，接收端可以藉由已接收到的冗餘封包去恢復部分已遺失的封包，將封包遺失的損害降到最低，盡可能地維護影像的完整性。然而，前向錯誤修正機制中的冗餘封包會造成更多的頻寬消耗，因為每傳送一個原始封包，後面就多夾帶著一個甚

至多個冗餘封包，頻寬的消耗量將大大地增加，網路也將更為壅塞。另外，當傳輸過程遭遇到連續性的封包遺失時，前向錯誤修正機制對於封包的保護程度明顯降低許多，隨著連續性的封包遺失，冗餘封包也跟著一起連續遺失，如此一來能修復的封包就更為有限。

本篇論文中，提出一個新的機制，同時考慮兩種封包的掉落情況，分別是封包的掉落率及連續掉落長度。當封包的掉落情況較佳時，此時影像被影響的程度較低，不使用 FEC 作為封包保護機制，以避免過多的頻寬消耗。而當封包的掉落情況較嚴重時，此時對影像的損壞較大，必須使用 FEC 或交錯式 FEC[1]，減低封包掉落及連續性遺失造成的負面影響，用多一點的頻寬消耗換取較高的影像品質。

## 2. 背景知識

### 2.1 交錯式 FEC 之容錯最佳化

楊堯強先生等人在 2011 所發表的 An Optimization Research of Error Consistence Based on Adaptive FEC and Interleaving Mechanisms[2]，提出了一個公式，歸納出交錯式 FEC 在使用不同深度的矩陣做為交錯式的緩衝區，以及使用不同的冗餘封包個數時，交錯式 FEC 所能忍受的最大封包連續掉落數。此公式為： $a(a+1)n-(a+1)$ 。其中  $n$  為 Interleaving 的深度，就是  $N \times N$  矩陣的  $N$ ， $a$  則為 FEC 的冗餘封包個數。並且由於過多的冗餘封包會造成頻寬的浪費，因此將  $a \geq n$  的情況列為不考慮。

另外，此篇論文也提出 Interleaving 深度與 FEC 冗餘封包個數兩者之間的最佳關係，那就是當  $a+1=n$  時，既不會造成頻寬的浪費，也能維持延遲時間較短的需求。進一步地將  $a(a+1)n-(a+1)$  與  $a+1=n$  做個結合，可以得到  $a(a+1)(a+1)-(a+1)$ 。因此當封包的連續遺失長度為  $x$  個時，利用  $a(a+1)(a+1)-(a+1) > x$ ，求其  $a$  之最小值即為其封包保護之最佳解。

### 2.2 適應性 FEC

適應性 FEC(Adaptive Forward Error Correction, AFEC)是許多論文[5][6][7]都曾探討過的一種動態 FEC。FEC 基本上分為靜態 FEC 與動態 FEC。靜態 FEC 的冗餘封包數是固定的，因此靜態 FEC 對於網路的適應性較差，無法跟著網路的好壞情況做調整，

可能使原本就較為壅塞的網路更加壅塞。而動態的 FEC 就是發送端可以隨時調整要傳送的冗餘封包數，可能是依據網路的壅塞程度、封包的平均掉落率、封包的連續掉落數...等作調整。

像是 Ming-Fong Tsai 等人於 2008 年發表的 Burst-aware Adaptive Forward Error Correction in Video Streaming over Wireless Networks[7]就是依據封包的連續掉落長度來調整冗餘封包數。由於傳統的 FEC 冗餘封包數是由一段時間的平均封包遺失率來決定，然而平均封包遺失率並無法提供封包連續遺失的相關訊息，因此 Ming-Fong Tsai 等人提出了一個 Burst-aware Adaptive Forward Error Correction (BAFEC)，利用接收端回傳目前的連續掉落長度給發送端，發送端在利用此資訊去調整下一個時間點要傳送的冗餘封包數。但是封包的連續掉落長度是時變性的，每個時間點的連續掉落長度並無太大關係，因此 BAFEC 這種依據目前的連續掉落長度去調整下一個時間點的冗餘封包的方法，實際上對於改善封包連續性掉落的程度較低。

### 3. 使用技術

#### 3.1 前向錯誤修正機制

前向錯誤修正機制(Forward Error Correction, FEC) [1]是一個以發送端為主的修復技術。其主要原理為，傳送多餘的封包資訊，並將這些資訊加在原始封包的後方，這些多餘的資訊又稱冗餘封包，在傳送原始封包的同時也傳送冗餘封包。如此一來接收端可以藉由冗餘封包來修復在傳輸過程中掉落的封包，彌補封包掉落對影像造成的影響。如圖 1 所示。

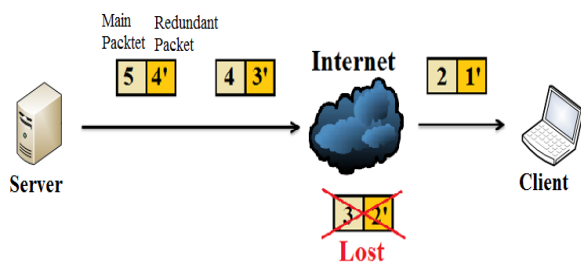


圖 1 FEC 示意圖

Packet 2 後方夾帶 Packet 1 的修復資料，Packet 3 後方夾帶 Packet 2 的修復資料，依此類推。當 Packet 3 在傳輸過程中遺失了，我們可以由之後接收到的 Packet 4 後方的 Packet 3 冗餘封包來恢復遺失的 Packet 3。對於單一的封包遺失，前向錯誤修正機制有著不錯的封包保護作用，它能利用冗餘封包使遺失的封包輕易地被恢復。但是對於連續性的封包遺失，由於冗餘封包也會遭遇連續性遺失，因此只能恢復少部分遺失的封包，當恢復的封包有限

時，可能會造成破圖或是較差的影像品質，連續性遺失使得前向錯誤修正機制對封包的保護程度大幅降低。

#### 3.2 Reed-Solomon code

Reed-Solomon code(RS Code)[5][8]是一種常用的前向錯誤修正機制的編碼。參數 RS(n,k)表示：一個 Block 總共有 n 個封包，而其中有 k 個封包是包原始的資料(Main Packet)，而剩下的 n-k 個封包就是所謂的冗餘封包。如圖 2 所示。且 RS(n,k)可以修復(n-k)/2 個封包，也就是說 RS(n,k)可以容忍小於(n-k)/2 個連續或者分散的封包掉落數[8]。

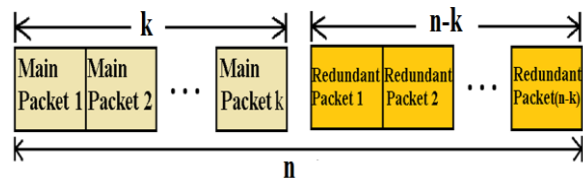


圖 2 RS(n,k)示意圖

其中參數 n=255 與 k=223 最為常用，也就是 RS(255,223)，其錯誤容忍度為(255-223)/2=16。

#### 3.3 交錯式順序機制

交錯式順序機制(Interleaving)[1]的原理就是將封包的順序做交錯式排列後再傳送出去。此機制不像以往是依照封包的順序依序地做傳送，而是先將封包依正常順序傳入一個發送端的緩衝區(Buffer)內，等緩衝區所存放的資料已滿時，再將封包的順序以交錯式的方式傳送到接收端的緩衝區，接收端再經由重新排列組合成原本的順序以完成封包的傳輸。如圖 3 所示。

圖 3 使用一個深度為 3\*3 的矩陣做為緩衝區。當封包以正常順序存入傳送端的緩衝區後，再以另一個方向的順序將封包傳送至接收端，此時封包的傳送順序為 0、3、6、1、4、7、2、5、8。如圖 3 所示，當封包在傳送過程中遭遇連續性遺失時，經接收端重新組合封包順序後，過程中連續遺失的封包將被打散，交錯式機制降低了封包連續遺失的損害。由於交錯式順序機制並沒有傳送冗餘封包，因此交錯式順序機制並沒有修復遺失封包的功能，它只能降低連續性遺失的影響。

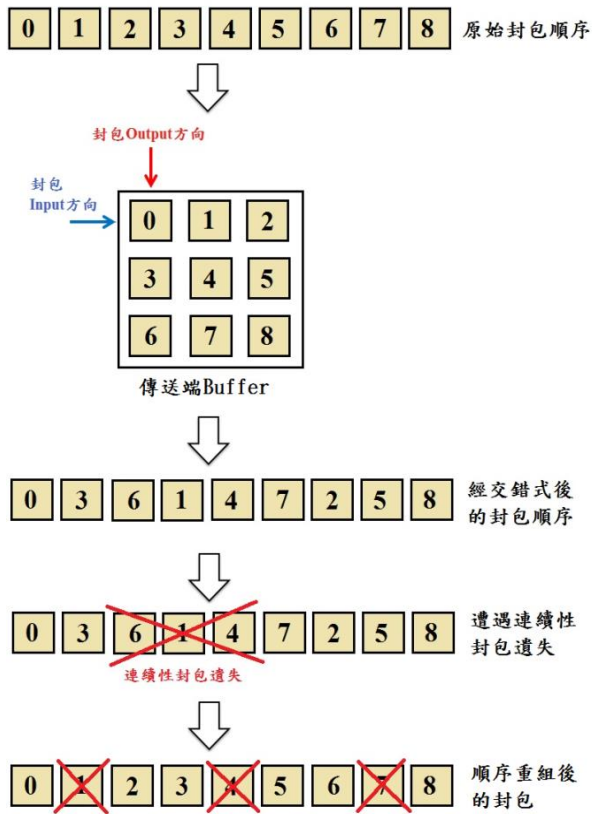


圖 3 交錯式順序機制示意圖

### 3.4 交錯式 FEC

交錯式 FEC[1][2]顧名思義就是將前向錯誤修正機制(FEC)與交錯式順序機制做一個結合。由於連續性的封包遺失會使得影像串流中有一段資料是消失的，進而造成影像的破圖。因此，交錯式 FEC 可以藉由結合交錯式順序機制來提升 FEC 在連續性封包遺失情況下的效能。交錯式 FEC 和 FEC 一樣是將冗餘封包附加於原始封包的後方，不同的是交錯式 FEC 的傳輸順序不同，藉此降低連續性包遺失帶來的影響。如圖 4 所示。

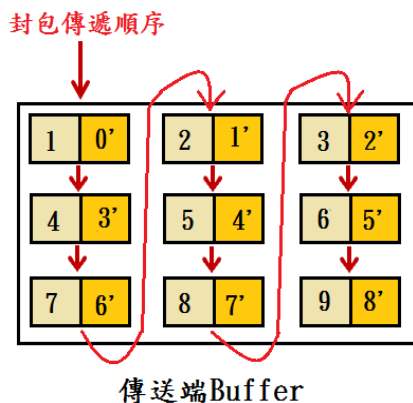


圖 4 交錯式 FEC 示意圖

交錯式 FEC 可以透過交錯式順序機制將連續遺失的封包打散，再透過前向錯誤修正機制的冗餘封包恢復部分遺失的封包，使得真正遺失的封包數降至最低，並且進一步避免影像資料連續地消失。

## 4. 研究方法

在本篇論文中，提出一套影像保護機制抉擇演算法，此機制將依據封包遺失率與封包連續掉落長度，決定在適當的情況下是否使用 FEC 或是交錯式 FEC。在不影響影像完整性的情況下，盡可能的減少頻寬消耗。

當封包遺失率較小且封包的連續掉落長度也較短時，此時的影像品質並不會受到太大的損害。由於 H.264 本身就具備相關的錯誤隱藏技術，因此，在這樣的情況下我們不使用前向錯誤修正機制來做封包的保護，而是單純依靠 H.264 的相關錯誤隱藏技術來提升影像的完整性。如此一來，我們不僅可以避免更多不必要的頻寬消耗，同時還能保有較佳的影像完整性。至於在何種情況下的封包遺失率與連續掉落長度，可以不必使用前向錯誤修正機制，以下提出了一個公式，如公式 1 所示。

$$r = \left(45 \times \frac{1}{p}\right) + \left(112 \times e^{-\frac{q}{10}}\right) \quad (1)$$

其中 p 為封包掉落率，q 為封包的最大連續掉落長度，r 則是代表影像品質的一個影像數值。當影像數值 r 越大時，表示影像的完整性越高。影像數值 r 越小則表示影像的完整性越低。實驗結果顯示，當影像數值  $r \geq 55$  時，擁有不錯的影像品質，此時不需要使用前向錯誤修正機制。而當影像數值  $r < 55$  時，影像品質較差，此時就必須使用前向錯誤修正機制來保護封包，以提升影像的完整性。

另外，當  $r < 55$  必須使用前向錯誤修正機制時，還得再考慮一個因素，那就是封包的連續掉落長度。由於封包的連續性掉落對於影像串流的損害相當嚴重，加上 FEC 在封包連續掉落情況下的保護程度有限，因此，本機制將在適當的情況下使用交錯式 FEC。設定封包連續掉落長度為 y，考慮 FEC 中常使用的 RS Code，其中 RS(n,k) 最多可以忍受  $(n-k)/2$  個封包連續掉落，因此當封包的連續掉落數  $y > (n-k)/2$  個時，FEC 對封包的修復能力大幅降低，可能因此出現破圖或較差的影像，此時將使用交錯式 FEC，藉此打散連續遺失的封包並且提高影像的完整性。整體概念如圖 4 所示。

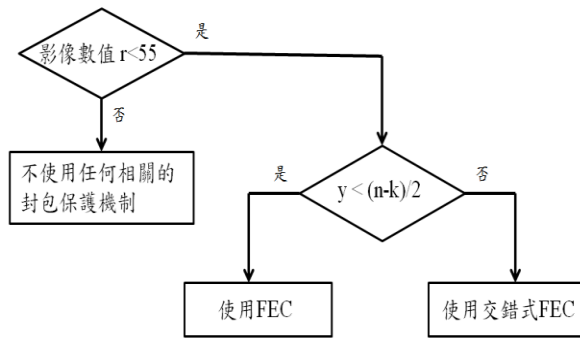


圖 4 整體概念圖

本研究使得影像在低封包掉落率與低封包連續掉落長度的情況下，不使用相關的封包保護機制，而是利用 H.264 的錯誤隱藏技術來使影像盡可能的完整，因此可以降低頻寬的消耗。而當封包掉落率與連續掉落長度較大時，使用 FEC 作為封包的保護機制，犧牲一點頻寬的消耗以換取更好的影像品質。當連續掉落長度大到足以對影像造成破圖或是更嚴重的傷害時，則使用交錯式 FEC 來彌補連續性掉落造成的負面效應。而文中所提及的交錯式 FEC，將使用楊堯強先生等人於 2011 所提出[2]的交錯式 FEC 之容錯最佳化，根據當時封包的連續遺失長度計算出最佳的 Interleaving 深度與 FEC 冗餘封包個數。

## 5. 實驗結果

## 6. 結論

## 致謝

感謝中山科學研究院計畫”行動擴增實境雲端環境之視訊串流傳輸最佳化及無縫播放之研究”之協助完成本論文。

## 參考文獻

- [1] 黃柏昌，應用於 H.264/SVC 之適應性正向錯誤修正與交錯式順序機制於無線網路之研究，淡江大學電機工程學系碩士論文，中華民國九十八年六月。
- [2] 楊堯強，適應性正向錯誤修正機制與交錯式順序機制於容錯率最佳化之研究，淡江大學電機工程學系碩士論文，中華民國 100 年 12 月。
- [3] Gelman A.D, Bellcore, Morristown NJ, Halfin S., Willinger W., *n* buffer requirements for store-and-forward video on demand service circuits, in Global Telecommunications

Conference, Dec 1991, pp.976 - 980 vol.2, 2-5.

- [4] <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%81%E5%AA%92%E4%BD%93>
- [5] Wang Lizhong, Wu Muqing, Wei Lulu, Li Mojia, *An Adaptive Forward Error Control Method for Voice Communication*, International Conference on Networking and Digital Society, IEEE, 2010.
- [6] Chi-Huang Shih, *An Adaptive Forward Error Correction Combined with Packet Size Control for Wireless Video*, Sixth International Conference on Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IEEE, 2010.
- [7] Ming-Fong Tsai, Chih-Heng Ke, Tsung-Han Wu, Ce-Kuen Shieh and Wen-Shyang Hwang, *Burst-aware Adaptive Forward Error Correction in Video Streaming over Wireless Networks*, The 10<sup>th</sup> IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, IEEE, 2008.
- [8] <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%87%8C%E5%BE%B7-%E6%89%80%E7%BD%97%E9%97%A8%E7%A0%81>