

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

在空時編碼系統中之 ARQ 設計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-076-

執行期間：92年08月01日至93年08月31日

執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：林茂昭

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 15 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
在空時編碼系統中之 ARQ 設計
ARQ Designs for Space-Time Coded Systems

計畫編號：NSC 92-2213-E-002-076

執行期間：92 年 8 月 01 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：林茂昭 國立臺灣大學電信所

一、中文摘要

在多重收發天線系統中，利用多輸入多輸出的通道可以獲得更高的資料速率及多樣性增益。然而，在需要高可靠度之系統中，採用 ARQ 有其必要性。因此，在本研究中，我們研究如何利用不同的重傳方式，結合多層次編碼設計達到高速率及高可靠度的資料傳輸。

在本研究中，我們考慮 BLAST 系統之準靜態衰減通道中結合多層次編碼設計以及混合四進制相移鍵控與二進制相移鍵控的重傳機制。我們給予模擬結果並且跟先前設計之以空時區塊碼為基礎之 ARQ 作一個比較。此外，我們將在 BLAST 系統之準靜態衰減通道中，研究將傳統上複雜度不同之混合自動重傳機制結合多層次編碼設計，由模擬之結果探討系統效能，並且也與以時空區塊碼為基礎之 ARQ 作一個比較。而且我們也利用混合 ARQ 將 BLAST 系統中不同層次之訊息給予不同之保護，且與傳統之 ARQ 作一個效能上的比較。

關鍵詞：多重收發天線，空時碼，自動重傳

英文摘要

It is possible to achieve communications with high data rates and diversity gains through exploiting the multiple-input multiple-output (MIMO) channel. However, for applications of high reliability requirement, automatic repeat request (ARQ) is usually needed. In this research, we study several different ARQ schemes for the layered space-time coding system.

We consider the ARQ scheme which uses a combination of QPSK and BPSK transmissions together with layered space-time codes over

quasi-static fading channels. Through simulation results, we compare this scheme with a similar ARQ scheme over the Alamouti space-time block coding (STBC). Furthermore, we consider applying ARQ schemes of different complexity with layered space-time codes over the quasi-static fading channels. In addition, we consider a hybrid ARQ scheme which provides different protection to messages of distinct layers in the BLAST system. Comparison among the various ARQ schemes for the layered space-time coding system is given based on the simulation results.

Keywords: MIMO, Space-Time Coding, ARQ

二、計畫的緣由與目的(Goals)

無線通訊在最近有蓬勃的發展及快速的成長，使得我們更需要有高資料傳輸速率及高可靠度的通訊系統。然而，無線通道有多路徑衰減的效應，所以會限制系統的效能。而要對抗多路徑衰減可利用時間、頻率或空間上的多樣性。一個有效率的方式就是用多重收發天線。學者們提出兩種空時編碼方式：空時區塊碼及多層次空時碼 [1][2][3]。其中空時區塊碼可以提供傳送多樣性，而多層次空時碼可以提供空間上的多工。

雖然空時碼是一種對抗多路徑衰減效應的一種有效的方法，一個無線通訊系統還是需要自動重傳機制去達成更可靠的資料傳輸。最簡單的自動重傳機制是只利用錯誤偵測碼去測偵錯誤，當偵測到有錯誤的時候就要求重送一次，但這是一個沒有效率的方法。因此，我們增加一些錯誤更正能力在其中，這樣就可以增加系統的輸出率，這就是所謂的

混合型自動重傳機制。這種機制提供單純的自動重傳及正向錯誤更正一個折衷的方式。而如果發射端在重送時只重送檢查碼的部分，則系統的輸出率就更可以有效的提升了[5]。

在本研究中，我們首先結合多層次編碼設計以及混合四進制相移鍵控與二進制相移鍵控的重傳機制，我們給予模擬結果並且與 Alamouti 空時區塊碼為基礎之 ARQ 作一個比較。此外，我們將在 BLAST 系統之準靜態衰減通道中，研究將傳統上複雜度不同之混合自動重傳機制結合多層次編碼設計，由模擬之結果探討系統效能，並且也與以時空區塊碼為基礎之 ARQ 作一個比較。而且我們也利用混合 ARQ 將 BLAST 系統中不同可靠度之訊息給予不同之保護，且與傳統之 ARQ 作一個效能上的比較。

三、研究方法與成果 (Methods and Results)

對於一個平坦衰減的多重收發天線系統，我可以用下面這個向量的表示法來代表：

$$r_\tau = H_\tau c_\tau + v_\tau \quad (1)$$

上式的 τ 代表某一個時間，而 r 代表收到的訊息， H 表示通道的衰減係數矩陣， c 代表傳送的訊息， v 則代表 AWGN 的雜訊。在此研究當中，我們用到兩種多層次空時碼的架構，如圖一(a)及圖一(b)。圖一(a)當中只有一個通道編碼會用到，而圖一(b)則會用到多個通道編碼的區塊。

本研究中會用到兩種偵測訊息的演算法，分別是以 QR 分解及 MMSE 為基礎。其中 QR 分解的方式如下，收先我們先對式(1)中的 H_τ 作 QR 分解得 $H_\tau = (U_R)_\tau R_\tau$ ，其中 $(U_R)_\tau$ 是一個么正矩陣，而 R_τ 是一個上三角矩陣。我們在式(1)的兩邊各乘上 $(U_R)_\tau^H$ ，這邊的 H 代表共軛轉置，則可得下式：

$$y_\tau = (U_R)_\tau^H r_\tau = R_\tau c_\tau + v_\tau' \quad (2)$$

其中 v_τ' 是一個 i.i.d. 的 AWGN 雜訊。因為 R_τ 是一個上三角矩陣，所以我們可以得下式：

$$y_\tau^k = (R_\tau^k)_\tau c_\tau^k + v_\tau'^k + \{\text{contribution from } c_\tau^{k+1}, c_\tau^{k+2}, \dots, c_\tau^{n_T}\} \quad (3)$$

在式(3)中只有干擾來自於 c^l ， $l < k$ 。假設這些干擾都是已知的，也就是這些訊息都已正確的被偵測出來，我們可以將這些其他訊息造成的干擾消除掉，這樣一來就只剩下 AWGN 的雜訊會造成干擾了，如下式所示：

$$z_\tau^k = (R_\tau^k)_\tau c_\tau^k + v_\tau'^k, k = 0, 1, \dots, n-1 \quad (4)$$

在 MMSE 演算法為基礎的偵測裡，我們設法將傳送的訊號以及接收到訊號的線性組合，兩者之間的差做一個最小化的動作，如下式所示：

$$\min E [(c_\tau - w_\tau^H r_\tau)^2] \quad (5)$$

其中 w_τ 如下所示：

$$w_\tau^H = (H_\tau^H H_\tau + \alpha^2 I_m)^{-1} H_\tau^H \quad (6)$$

α^2 : 雜訊變異數

所以我們可以得到第 i 根天線發射的訊號下：

$$\hat{c}_{\tau,i} = q(\tilde{r}_{\tau,i}) = q(w_{\tau,i}^H r_\tau) \quad (7)$$

$w_{\tau,i}^H$: w_τ^H 的第 i 列

以下要介紹結合多層次編碼設計以及混合四進制相移鍵控與二進制相移鍵控的重傳機制[4]，並且將這個重傳機制也用在空時區碼設計中。假設 C_a 是一個 (n, k_a, d_a) 的線性碼，而 C_b 是一個 (n, k_b, d_b) 的線性碼。在這個 ARQ 系統中，我們將 $(k_a + k_b)$ 位元的消息碼 (\bar{m}_b, \bar{m}_a) 編成 (\bar{v}_b, \bar{v}_a) 的碼字。其中 m_a 有 k_a 個位元， m_b 有 k_b 個位元， \bar{v}_a 是 C_a 的一個碼字，而 \bar{v}_b 是 C_b 的一個碼字。我們把 (\bar{v}_b, \bar{v}_a) 這個向量用 $(b_1, b_2, \Lambda, b_n, a_1, a_2, \Lambda, a_n)$ 來表示，並且我們能對應任何的 (b_i, a_i) ， $i=1, 2, \dots, n$ ，到 QPSK 的星狀圖上去。QPSK 的訊號我們可以用下面的式子來表示：

$$s_j(t) = \left(\frac{2E_s}{T_s}\right)^{1/2} \cos(\omega_c t + j \cdot \frac{\pi}{2}) \quad 0 \leq t \leq T_s, j=0,1,2,3 \quad (8)$$

QPSK 訊號的星狀圖如圖二。從集合分割的觀點來看， C_b 的歐幾里得距離比 C_a 的還大，所以 \bar{v}_a 比 \bar{v}_b 需要更多的保護。我們將比這個 ARQ 設計套用在 STBC 及 BLAST 系統當中。這個 ARQ 的傳送端及接收端的區塊圖如圖三。以下我們將簡述此 ARQ 機制的流程：

<1>發射端將消息向量 (\bar{m}_b, \bar{m}_a) 轉變成 n 個 QPSK 的

訊號，表示如下： $\overline{Q} = (Q_1, Q_2, \Lambda, Q_n)$ ，經過多層次空時碼編碼之後，從發射天線陣列傳送出去。在接收端，我們可以使用以 QR 分解或是 MMSE 為基礎的演算法作偵測。假設接收到的訊號為 $\overline{Q} = (Q_1, Q_2, \Lambda, Q_n)$ 。接收端將會紀錄 \overline{Q} ，並且作錯誤偵測的動作。我們把估測到的訊號向量用 $\overline{v}_a^* = (a_1^*, a_2^*, \Lambda, a_n^*)$ 及 $\overline{v}_b^* = (b_1^*, b_2^*, \Lambda, b_n^*)$ 表示經過這兩個估測的向量做錯誤的偵測之後，會有三種情況：

- (a) $\overline{v}_a^* \in C_a, \overline{v}_b^* \in C_b$ 。接收端會傳送確認的訊號回發射端，且接收 $(\overline{v}_b, \overline{v}_a)$ ，下一步將往步驟<2>。
- (b) $\overline{v}_a^* \notin C_a$ 。接收端將會傳送對 \overline{v}_a 不確認的訊號給發射端必且要求重送 \overline{v}_a ，下一步將往步驟<3>。
- (c) $\overline{v}_a^* \in C_a, \overline{v}_b^* \notin C_b$ 。接收端將會傳送對不確認的訊號給發射端必且要求重送 \overline{v}_b ，下一步將往步驟<1>。

<2>當接收端收到確認的訊號時，一個新的消息區塊 $(\overline{m}_b, \overline{m}_a)$ 將被重新傳送，下一步到步驟<1>。

<3>當接收端收到對 \overline{v}_a 不確認時，發射端會將碼字 \overline{v}_a 轉變成 n 個 BPSK 信號 $\overline{B}_a = (B_{a1}, B_{a2}, \Lambda, B_{an})$ 。經由多層次時空碼的編碼之後，此碼序列會被天線陣列傳送出去，並在加收端時偵測之。我們把估測的碼向量用 $\overline{v}_a^{**} = (a_1^{**}, a_2^{**}, \Lambda, a_n^{**})$ 表示。經過對 \overline{v}_a^{**} 做錯誤偵測之後，將會有兩種情況，如下：

- (a) $\overline{v}_a^{**} \notin C_a$ 。接收端將會傳送對 \overline{v}_a 不確認的訊號給發射端必且要求重送 \overline{v}_a ，下一步將往步驟<3>。
- (b) $\overline{v}_a^{**} \in C_a$ 。接收端會假設 \overline{v}_a 是正確的接收，並且根據接收到的碼字 $\overline{v}_a^{**} = (a_1^{**}, a_2^{**}, \Lambda, a_n^{**})$ 以及在步驟<1>所紀錄的 QPSK 訊號來估測 $\overline{v}_b^{**} = (b_1^{**}, b_2^{**}, \Lambda, b_n^{**})$ 。如果 a_i^{**} 是 0，並且 Q_i 落在第 I、II、III、VIII 區域，則我們估測 b_i^{**} 為 0，否則 b_i^{**} 為 1。另一方面，如果 a_i^{**} 是 1，並且 Q_i 落在第 II、III、IV、V，則我們估測 b_i^{**} 為 0，否則 b_i^{**} 為 1。然後我們可以對估測的碼字 $\overline{v}_b^{**} = (b_1^{**}, b_2^{**}, \Lambda, b_n^{**})$ 做錯誤偵測，如果 $\overline{v}_b^{**} \in C_b$ ，則我們傳送確認的訊號回發射端，且下一步驟為<2>。如果有錯的話，傳送對 \overline{v}_b 的不確認給發射端，下一步驟為<4>。

<4>當傳送端收到對 \overline{v}_b 的不確認時，當接收端收到對 \overline{v}_b 不確認時，發射端會將碼字 \overline{v}_b 轉變成 n 個

BPSK 信號 $\overline{B}_b = (B_{b1}, B_{b2}, \Lambda, B_{bn})$ 。經由多層次時空碼的編碼之後，此碼序列會被天線陣列傳送出去，並在加收端時偵測之。我們把估測的碼向量用 $\overline{v}_b^{***} = (b_1^{***}, b_2^{***}, \Lambda, b_n^{***})$ 表示。經過對 \overline{v}_b^{***} 做錯誤偵測之後，將會有兩種情況，如下：

- (a) $\overline{v}_b^{***} \notin C_b$ 。接收端將會傳送對 \overline{v}_b 不確認的訊號給發射端必且要求重送 \overline{v}_b ，下一步將往步驟<4>。
- (b) $\overline{v}_b^{***} \in C_b$ 。接收端會傳送確認的訊號回發射端，下一步將往步驟<2>。

在我們這個 ARQ 系統中，我們令 C_a 為 (512, 484, 8) 的延伸 BCH 碼， C_b 為 (512, 493, 6) 的延伸 BCH 碼。在純 BPSK 調變的 ARQ 系統中，我們用 C_b ，而在純 QPSK 調變的 ARQ 系統中，我們用 (1024, 993, 8) 的延伸 BCH 碼，並且把兩個位元映射到 QPSK 訊號。而在此我們用的 BLAST 架構式如同圖一(a)。

我們首先考慮 4 根傳送及接收天線系統。圖四是混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 系統，以及純 BPSK 調變及純 QPSK 調變的 ARQ 系統，輸出率性能的比較。這邊我們用的是 QR 分解的演算法來做偵測。而圖五是以 MMSE 演算法來做偵測。我們可以看到對於 BLAST 系統，此種 ARQ 設計在準靜態衰減通道中，比上純 BPSK 或是純 QPSK 調變的 ARQ 設計，依然會保有它的優點。

圖六是使用混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 設計在 Alamouti 的 STBC 及 BLAST 系統中的輸出率性能比較。這邊我們用的是 2 根傳送及接收天線系統。我們可以發現在較低的訊雜比時，STBC 系統的輸出率會比 BLAST 好很多，這是因為它可以提供完全的傳送多樣性。在高訊雜比時 BLAST 系統可以提供比 STBC 系統快兩倍的資料傳輸速率。

再來我們要在不同的複雜度及效率之下，考慮型態 II 的混合 ARQ 機制。在這邊我們用 4 根傳送及接收天線系統。這邊所用的錯誤偵測碼都是 (512, 484, 8) 的延伸 BCH 碼。這些混合 ARQ 的流程

簡述如下：

設計 A: 訊息結合 ARQ 機制

當接收端偵測到有錯誤時，要求發射端在重送同樣的一個訊息，並在接收端將新收到的訊息與之前收到的做一個結合。

設計 B: 1/2 碼率的迴旋碼 ARQ 系統

這邊我們使用碼率二分之一的迴旋碼作為錯誤更正之用，而我們使用 Viterbi 演算法做解碼。當接收端偵測到有錯誤時，我們把之前的錯誤偵測碼用迴旋碼編碼，並只傳送檢查碼的部分。到了接收端，我們結合消息碼與檢查碼，並用 Viterbi 演算法去解碼。如果還有錯的話，則重送消息碼的部分，用以取代舊的消息碼，依此下去。

設計 C: 1/2 碼率的渦輪碼 ARQ 系統

這個設計與設計 B 很像，只不過在錯誤更正的部分，我們是使用二分之一的渦輪碼。也就是說重送檢查碼時，我們送渦輪碼的檢查碼。而解碼時我們是使用疊帶 MAP 演算法解碼的。

設計 D: 1/3 碼率的渦輪碼 ARQ 系統

這個設計與[5]類似。當在設計 C 仍然偵測到有錯誤時，我們就傳送刪除檢查碼其他的部分。在接收端，我們結合消息碼，以及前面的檢查碼，形成一個碼率三分之一的渦輪碼，在用疊帶 MAP 演算法解之。如果仍然發現有錯時，我們可以重送消息碼的部分，或是檢查碼的其中一個，依此下去。

設計 E: 用多階層偵測的 ARQ 系統

在 QR 分解演算法中，如果下一層是正確的時候，則上一層的錯誤率就可以大大的降低，因此我們利用這個特性來設計多階層偵測的 ARQ 系統。這邊我們仍然使用(512, 484, 8)的延伸 BCH 碼作為錯誤偵測碼，而我們使用三分之一碼率的迴旋碼作為錯誤更正碼。BLAST 系統為 4 根傳送及接收天線。錯誤偵測碼及錯誤更正碼的架構圖如圖七(a)及圖七(b)。我們簡述這個 ARQ 設計如下。當接收端收到錯誤偵測碼時，我們首先先用 MMSE 演算法做信號

的偵測，之後再做錯誤的偵測。可分成三種情況：

(1)如果三、四層有錯的話，我們就在發射端把三、四層用三分之一碼率的迴旋碼編碼，傳送檢查碼的部分，用 Viterbi 演算法解碼，如果再偵測沒有錯的話就如同情況(2)，有錯的話就在重送消息碼或是檢查碼。

(2)如果三、四層沒錯的話，就用 QR 分解演算法，及正確的三、四層去偵測一、二層的信號。如果一、二層仍有錯的話，我們就在發射端把一、二層用三分之一碼率的迴旋碼編碼，傳送檢查碼的部分，用 Viterbi 演算法解碼，如果還有錯的話還是重送檢查碼的部分，直到重送檢查碼的次數超過三次再重送消息碼，依此下去。

(3)如果三、四層及一、二層都沒錯的話，則傳送確認的信號給發射端。

圖八、九為設計 A 至 D 的輸出率性能圖。這裡我們都是用 BPSK 調變的。圖七是用 QR 分解演算法偵測的，圖八是用 MMSE 演算法。很顯然地，用 MMSE 演算法可以比用 QR 分解演算法性能會好很多。

圖十是設計 B 在 STBC 系統及 BLAST 系統的輸出率性能比較。我們知道對於 4 根傳送及接收天線系統，BLAST 系統的資料傳輸速率是 STBC 系統的 4 倍。從圖中，我們可以看到，大概在 1 SNR dB 時，ARQ 設計架構在用 MMSE 演算法偵測的 BLAST 系統上，它的性能就會架構在 STBC 系統上為好。而用 QR 分解演算法則要到 7 dB 左右才會比較好較好。

圖十一是設計 E 與設計 B 的輸出率性能比較。為了公平比較，我們使用(1024,993,8)延伸 BCH 碼。而 BLAST 的架構是如第二頁的圖(a)。我們可以發現設計 E 的輸出率會比設計 B 的性能好。

四、結論與討論(Concluding Remarks)

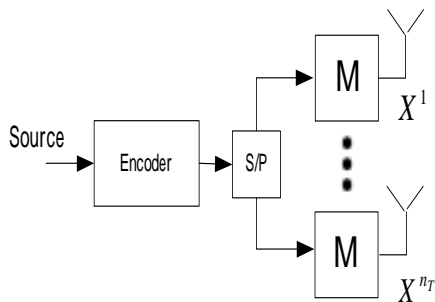
在本研究中，我們提出不同的 ARQ，這些設計是結合空時碼與混合 ARQ 機制的設計，在各種

不同複雜度時，可以得到不同的輸出率。我們也提出利用多層次空時碼特性的 ARQ 設計，並且發現這樣會有較好的性能。

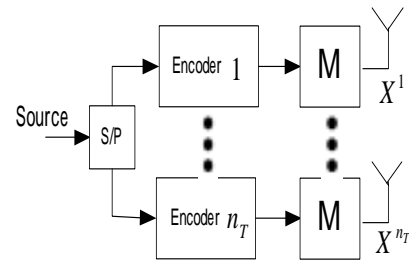
五、參考文獻(References)

- [1] G. J. Foschini, "Layered Space-Time Architecture For Wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi-Element Antennas", Bell Labs Technical Journal, Autumn 1996
- [2] D. Shiu and J. Kahn, "Layered space-time codes for wireless communication using multiple transmit antennas," Proc. of IEEE International Conference on Communication, Vancouver, B.C. Jun 1999
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, pp. 1451-1458, Oct 1998
- [4] S. K. Lee, M.C. Lin, "An ARQ Scheme Using Combined QPSK and BPSK Transmissions," IEEE Trans. On Commun., vol. 43, no. 5, May. 1995, pp.1917-25
- [5] S. Kallel and D. Haccoun, "Generalized Type-II Hybrid-ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding ," IEEE Trans. Commun., COM-38, No. 11: 1938-1946, Nov. 1990

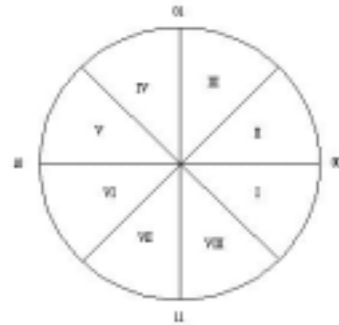
六、圖表 (Figures and Tables)



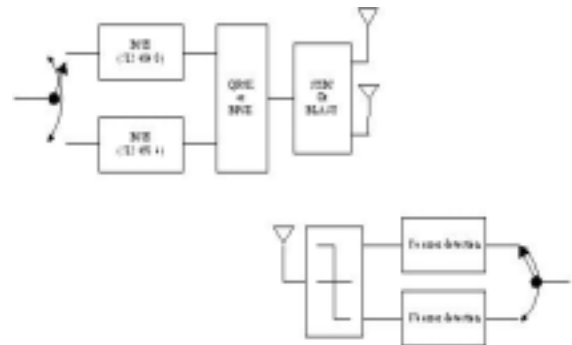
圖一(a) BLAST 系統的發射端架構圖



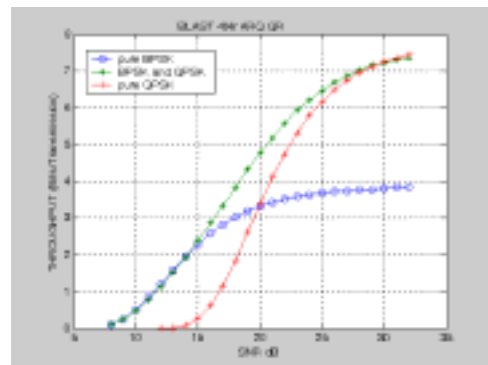
圖一(b) BLAST 系統的發射端架構圖



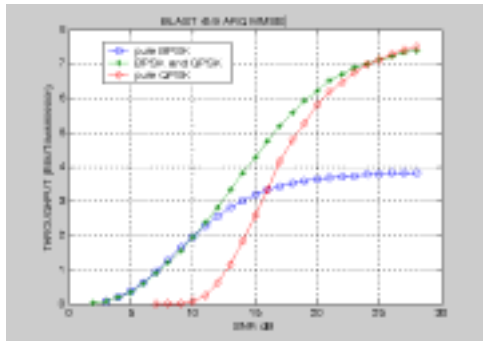
圖二 QPSK 訊號的星狀圖



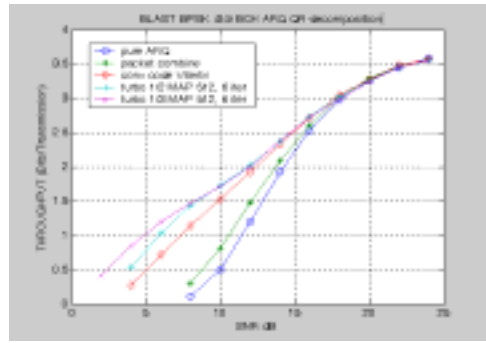
圖三 混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 設計的發射端及接收端



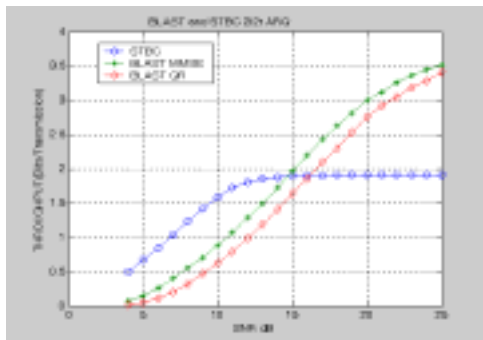
圖四 混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 設計在 BLAST 系統上之輸出率性能圖(QP 分解演算法)



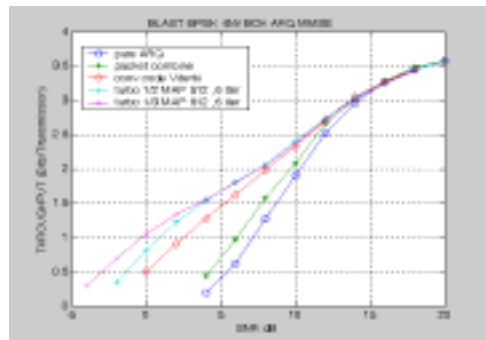
圖五 混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 設計在 BLAST 系統上之輸出率性能圖 (MMSE 演算法)



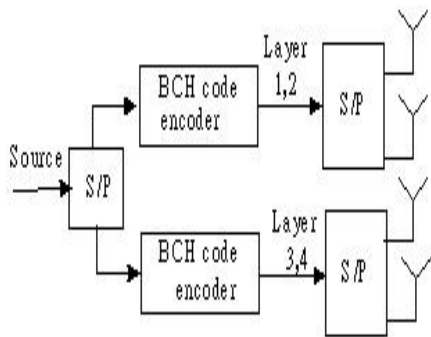
圖八 各種不同 ARQ 設計在 BLAST 系統之輸出率性能圖 (QR 分解演算法)



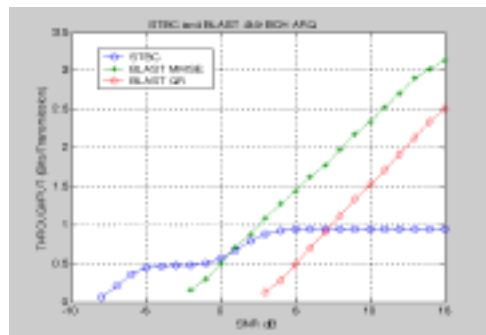
圖六 混合 QPSK 及 BPSK 之 ARQ 設計在 BLAST 系統及 STBC 系統之輸出率性能比較圖



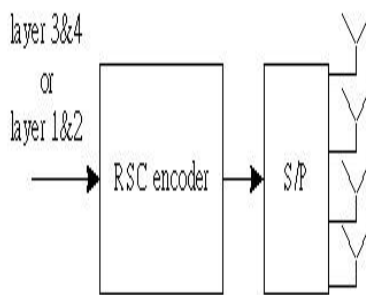
圖九 各種不同 ARQ 設計在 BLAST 系統之輸出率性能圖 (MMSE 演算法)



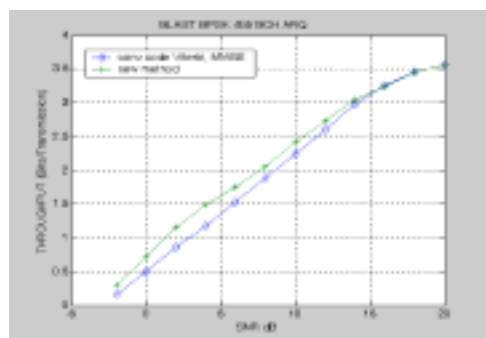
圖七(a) 設計 E 的錯誤偵測碼之編碼架構圖



圖十 設計 B 在 BLAST 系統及 STBC 系統的輸出率性能比較圖



圖七(b) 設計 E 的錯誤更正碼之編碼架構圖



圖十一 設計 B 與設計 E 在 BLAST 系統的輸出率性能比較圖