

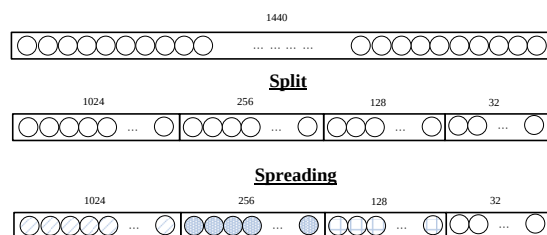
研究內容

本計畫在於設計具有多路徑干擾消除與多重碼展頻之行動 Wimax 系統，以期可以利用多重碼的優點將訊號之能量分散到所有的載波上面，以對抗通道嚴重衰變的問題，並且利用多路徑干擾消除的技術，獲得多路徑增益，再以低密度位元檢查碼之編解碼，提高行動 Wimax 之系統效能。

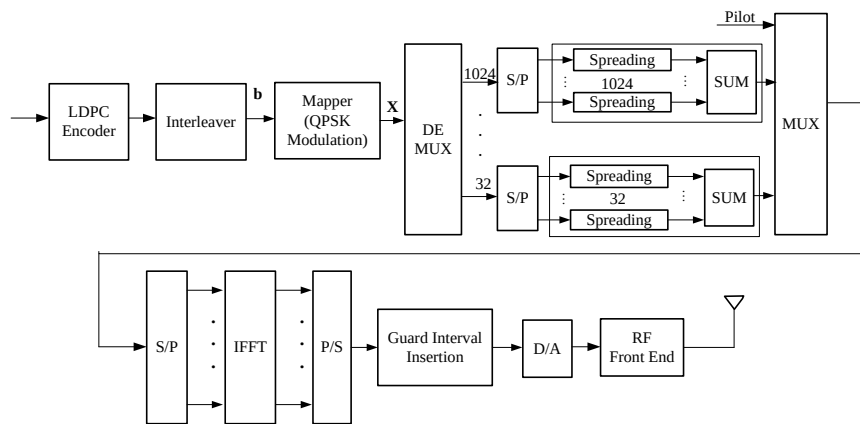
研究方法

本計畫針對行動 Wimax 系統，使用一種頻域展頻的技術，將訊號在頻域作正交展頻，使用此技術的目的在於將每個載波上的資訊能量分散到所有載波上，如此一來，可以改善 OFDMA 在嚴重通道衰變的情況下的訊號品質，因為從 OFDMA 的特性來看，訊號載波間的訊號是不相關，因此如果某幾個載波受到嚴重通道衰變干擾，訊號將可能會消失，因此要改善這個問題，必須使用資訊分散的方法，使用編碼技術是一種解決方案，本計畫採取頻域展頻的技術將可以更進一步提升系統效能。

較適合用於 OFDMA 系統的展頻碼是具有正交特性的華氏碼(Walsh code)，因為 Walsh code 具有正交特性，因此各載波展頻之後的訊號即使疊加起來也不會互相干擾，十分適合用於行動 Wimax 頻譜資源限制的特性，然行動 Wimax 之載波並無法符合 Walsh code 碼長需為 2 的多次方之限制，因此想出將訊號切割分組，以 FFT size 為 2048 點的例子，其實際使用的資料載波只有 1440 個，我們可將其切割分為四組，其對應長度分別為 1024，256，128，32，如此一來，每一分組將可符合 Walsh code 之規則，而且總長度又可符合行動 Wimax 的規定。每一分組可利用其組別內 Walsh code 作頻域展頻的動作，將訊號能量分散在所屬組別之所有載波上，接收端只要對對應之組別做相對應的解展頻作用，即可將各個載波的資訊還原，即使受到通道嚴重的衰變，解展頻之後的訊號還是會有相當品質的質量，可以讓資料偵測器正確解出資料。



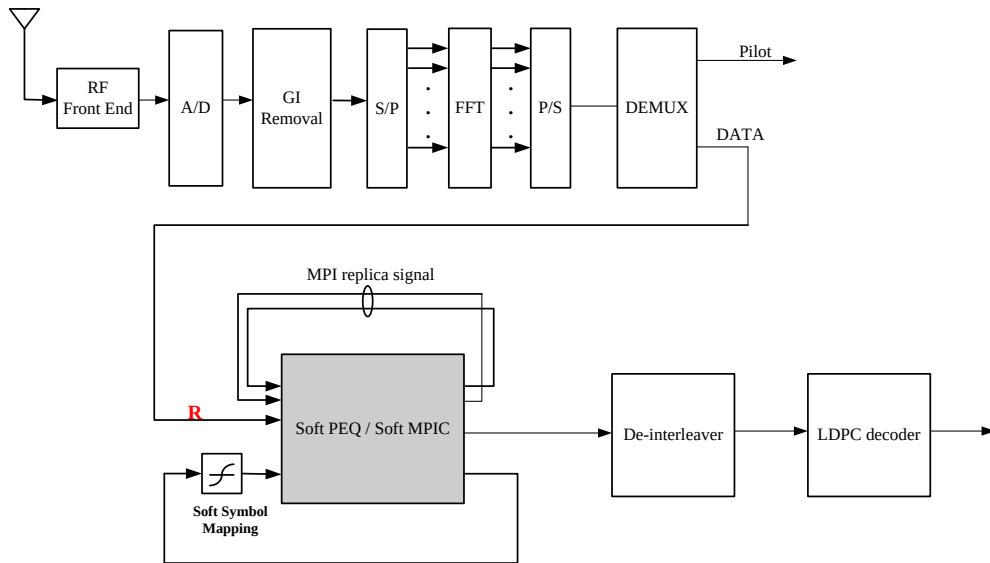
圖一 行動 Wimax 載波分組及頻域展頻



圖二 具有多重碼特性之行動 Wimax 傳送端架構圖

圖二為行動 Wimax 傳送端的架構圖，在經過 LDPC code 編碼、交錯及調變之後，訊號將作分組動作，分組之後的訊號即進行對應組別的展頻，因為是在 IFFT 之前的展頻，因此其屬於頻域展頻。因為展頻碼具正交特性，各組的載波展頻之後將可以在各組內疊加起來，之後再將訊號多工串接起來，這時就可將領航載波(Pilot)加進 OFDM 符元內。經過 IFFT 之後，訊號即轉為時域訊號，加上護衛區間的保護，符元訊號即可從傳送端傳送出去。

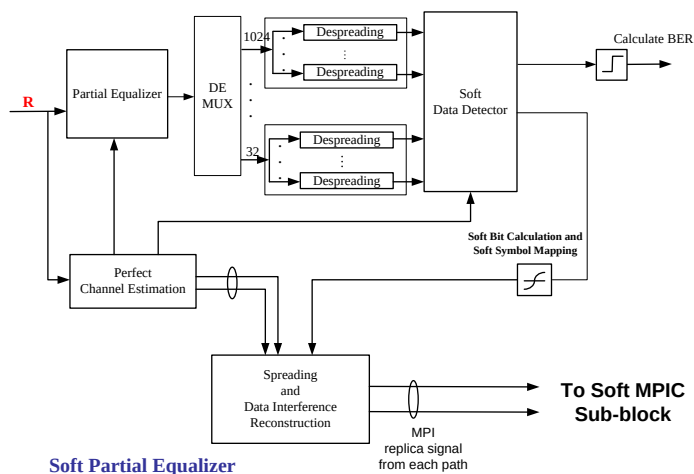
本計畫另一核心技術在於接收端的多路徑干擾消除技術，此技術主要目的在於對抗通道多路徑干擾的效應，利用訊號偵測與重建之間的遞迴式訊號處理，以減小訊號受到通道衰變的效應，接收端的架構圖如圖三所示，訊號從通道接收之後，先轉到基頻，移除護衛區間之後，即可作數位訊號處理。FFT 將訊號由時域轉到頻域，因此接下來的訊號將會在頻域作運算，領航載波會用來作同步及相關系統參數之指定，而資料載波即可用來作多路徑干擾消除相關的訊號處理。這邊的多路徑干擾消除訊號處理即為圖中深色區塊的部份，詳細內容將在後面說明。訊號送進多路徑干擾消除訊號處理區塊之後，可以解出第一次的訊號估計，此估計出的訊號可以經過訊號重建的方式，將訊號重建為受通道干擾效應的狀態，再回授到多路徑干擾消除訊號處理區塊的輸入端，因為已經經過第一次的訊號估計，基本上已經消除部份的資訊不確定性，因此利用此估計過後的訊號再進行一次多路徑干擾消除訊號處理，將可以有更好的資料品質，經過多次遞迴之後，訊號將可以有越來越好的品質，經過模擬，約 3~4 次的遞迴運算即可有相當程度的改善。在多路徑干擾消除運算之後，訊號即可送到後端之低密度位元檢查碼作解碼之運算。



圖三 具有多重碼及多路徑干擾消除技術之行動 Wimax 接收端架構圖

圖四為接收端軟式部份等化器的區塊架構圖，圖五為接收端軟式多路徑干擾消除運算之區塊架構圖。訊號會先經過第一次的軟式部份等化運算之後再作多路徑干擾消除運算，軟式部份等化運算之主要目的在於補償通道的效應，其等化參數如式(1)所示，這邊之所以使用軟式等化器，在於可以依照通道的情形加以調整 β 值，如通道干擾是以 AWGN 為主，則將等化器調整趨近 MMSE 等化器的模式，如果通道干擾是以多載波之間的干擾為主，則可以調整 β 值趨近 ZF 等化器的模式，如果是介在中間則等化器亦可適應性校對到比較適合之型態，在這邊我們假設通道狀態資訊已知。

$$G_i = H_i^* / |H_i|^{1+\beta}, \quad 0 \leq i \leq (N-1), \quad -1 \leq \beta \leq 1 \quad (1)$$



圖四 行動 Wimax 接收端之軟式部份等化器區塊架構圖

經過等化之後的訊號即可做解展頻的動作，因為傳送端已有分組處理，因此接收端需要對相對應的訊號作分組運算，即對 1024，256，128，32 作對應之解展頻處理，解展頻之後的訊

號可以表示為：

$$\begin{aligned}
 z_{l,k} &= \mathbf{c}_{l,k}^T \mathbf{G}_l \mathbf{r}_l \\
 &= \mathbf{c}_{l,k}^T \mathbf{G}_l \left(\mathbf{H}_l \left(\sum_{j=1}^l x_j \mathbf{c}_{l,j} \right) + \mathbf{N} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^l \left(g_i h_i \sum_{j=1}^l x_j c_{l,k,i} c_{l,j,i} \right) + \mathbf{c}_{l,k}^T \mathbf{G}_l \mathbf{N} \\
 &= \underbrace{x_k \sum_{i=1}^l g_i h_i}_{DS} + \underbrace{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^l g_i h_i x_j c_{l,k,i} c_{l,j,i}}_{IS} + \underbrace{\sum_{i=1}^l c_{l,k,i} g_i n_i}_{NS}
 \end{aligned} \tag{2}$$

z 為解展頻之後的訊號， r 為接收的訊號， G 為軟式等化器， c 為展頻及解展頻用的華氏碼， l 為對應組別之長度， k 為組別內第 k 個載波， H 為通道效應， N 為通道雜訊， DS 為所要解出的訊號， IS 為碼際干擾， NS 為雜訊干擾。碼際干擾與雜訊干擾所提供的變異數將可用來計算軟式資訊。解展頻之後的訊號將可以作資料偵測，我們使用性能較好的軟式資料偵測，計算出其軟式資訊，因為訊號的實部與虛部互相獨立，因此其計算方式一樣，在這邊只推導實部的部份，虛部的部份可以用相同的步驟計算。

軟式資訊：

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{k,Re} &= \ln \frac{P(\text{Re}\{x_k\} = +1/\sqrt{2} \mid \text{Re}\{z_{l,k}\})}{P(\text{Re}\{x_k\} = -1/\sqrt{2} \mid \text{Re}\{z_{l,k}\})} \\
 &= \ln \frac{P(\text{Re}\{z_{l,k}\} \mid \text{Re}\{x_k\} = +1/\sqrt{2})}{P(\text{Re}\{z_{l,k}\} \mid \text{Re}\{x_k\} = -1/\sqrt{2})}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$P(\text{Re}\{z_{l,k}\} \mid \text{Re}\{x_k\} = +1/\sqrt{2}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\text{Re}\{z\}}^2}} \exp\left(-\frac{(\text{Re}\{z_{l,k}\} - m_{\text{Re}\{z\}})^2}{2\sigma_{\text{Re}\{z\}}^2}\right) \tag{4}$$

$$P(\text{Re}\{z_{l,k}\} \mid \text{Re}\{x_k\} = -1/\sqrt{2}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\text{Re}\{z\}}^2}} \exp\left(-\frac{(\text{Re}\{z_{l,k}\} + m_{\text{Re}\{z\}})^2}{2\sigma_{\text{Re}\{z\}}^2}\right) \tag{5}$$

$$\Gamma_{k,Re} = \frac{1}{2\sigma_{\text{Re}\{z\}}^2} \left\{ (\text{Re}\{z_{l,k}\} + m_{\text{Re}\{z\}})^2 - (\text{Re}\{z_{l,k}\} - m_{\text{Re}\{z\}})^2 \right\} \tag{6}$$

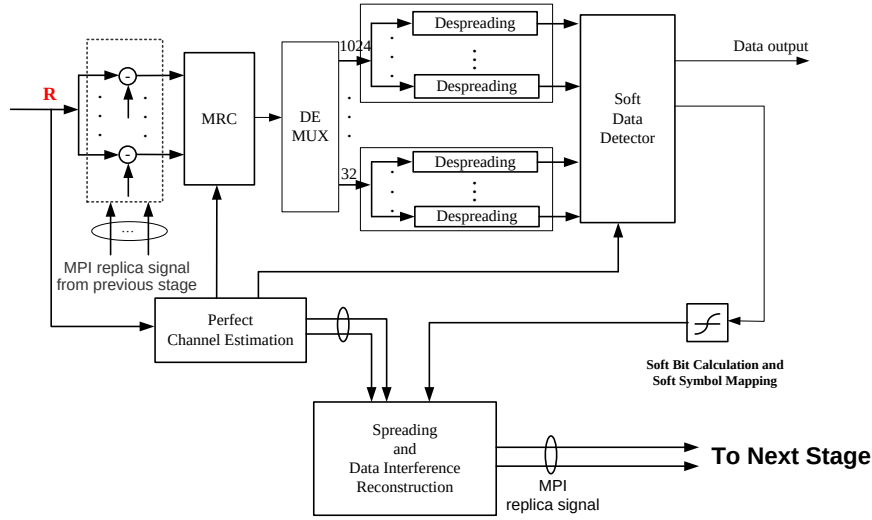
計算出軟式資訊之後，透過轉換可將軟式資訊轉換為軟位元，

$$\text{Re}\{\hat{x}_k\} = 1/\sqrt{2} \tanh(\Gamma_{k,Re}/2) \tag{7}$$

$$\text{Im}\{\hat{x}_k\} = 1/\sqrt{2} \tanh(\Gamma_{k,Im}/2) \tag{8}$$

$$\hat{x}_k = \text{Re}\{\hat{x}_k\} + j \text{Im}\{\hat{x}_k\} \tag{9}$$

軟位元即可用來做訊號重建，訊號重建包括重新展頻與加入通道資訊，因此可以重建出多路徑訊號，由於這邊經過第一次資料偵測的動作，因此重建的訊號將有更好的訊號品質，用這訊號做再一次的訊號處理，即遞迴運算(下一級為多路徑干擾消除運算)，即可獲得更好的性能表現，重建之後的訊號即送到下一級的多路徑干擾消除運算，多路徑干擾消除運算區塊架構圖如圖五所示：



圖五 行動 Wimax 接收端之軟式多路徑干擾消除區塊架構圖

由於在本級之前，多路徑訊號已被分解出來，因此在本級即可利用最大比合併(MRC)的方式將訊號的能量集合起來。第一步驟即為多路徑干擾消除(假設共有 n 個路徑訊號)，接收的訊號 R 扣除其他 $n-1$ 條前一級所重建出的訊號，即可將第一條路徑訊號分解出來，其它 $n-1$ 條路徑亦可使用一樣的方式解出來，解出的路徑如式(10)所示

$$\mathbf{r}_d = \mathbf{R} - \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq d}}^P \mathbf{H}_i \right) \left(\sum_{k=1}^L \hat{x}_k \mathbf{c}_k \right), \quad 1 \leq d \leq P \quad (10)$$

因此在這一級解出的 n 條路徑即可用最大比合併將訊號能量集合起來，也因為有這一步驟，提升了系統的效能，之後再經過對應之解展頻動作與軟式資訊偵測，即可將訊號的軟式資訊解出來，如式(11)所示

$$\Gamma_k = (2 / N_s \sigma_n^2) \cdot \mathbf{c}_k^T \sum_{d=1}^P \mathbf{H}_d^* \mathbf{r}_d \quad (11)$$

軟式資訊經過轉換可以轉換為軟位元，如式(12)所示：

$$\hat{x}_k = 1 / \sqrt{2} \tanh (\operatorname{Re}\{\Gamma_k\} / 2) + j(1 / \sqrt{2}) \tanh (\operatorname{Im}\{\Gamma_k\} / 2) \quad (12)$$

軟位元即可用來作訊號重建，重建的訊號會包括重新展頻與加入通道的效應，之後將重建好的訊號送到下一級的多路徑干擾消除運算，由於之後的訊號都有經過訊號重建，因此之後每一次的遞迴運算只需作多路徑干擾消除運算即可，不用再作軟式等化處理。經過幾次之多路徑干擾消除運算，最後的位元資訊即可送到後端的解碼器作解碼工作，這邊的解碼我們使用的是低密度位元檢查碼(LDPC)。

行動 Wimax 對於 LDPC code 有相當的定義，對於不同碼率與碼長均運用對應的基本矩陣(base matrix)

$$H = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & P_{0,2} & \cdots & P_{0,n_b-2} & P_{0,n_b-1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & P_{1,2} & \cdots & P_{1,n_b-2} & P_{1,n_b-1} \\ P_{2,0} & P_{2,1} & P_{2,2} & \cdots & P_{2,n_b-2} & P_{2,n_b-1} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ P_{m_b-1,0} & P_{m_b-1,1} & P_{m_b-1,2} & \cdots & P_{m_b-1,n_b-2} & P_{m_b-1,n_b-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中 P 為 $z \times z$ 的交換矩陣(單位矩陣的位移矩陣)或是零矩陣，某一碼率之基本矩陣為固定式，依照碼長不同而適時調整 z 的大小，以符合所需要的對應位元檢查碼矩陣，以碼率為 1/2 為例子，其基本矩陣為：

```

-1 94 73 -1 -1 -1 -1 -1 55 83 -1 -1 7 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 27 -1 -1 -1 22 79 9 -1 -1 -1 12 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 24 22 81 -1 33 -1 -1 -1 0 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
61 -1 47 -1 -1 -1 -1 -1 65 25 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 39 -1 -1 -1 84 -1 -1 41 72 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 46 40 -1 82 -1 -1 -1 79 0 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1
-1 -1 95 53 -1 -1 -1 -1 -1 14 18 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1
-1 11 73 -1 -1 -1 2 -1 -1 47 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1
12 -1 -1 -1 83 24 -1 43 -1 -1 -1 51 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 94 -1 59 -1 -1 70 72 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1
-1 -1 7 65 -1 -1 -1 -1 39 49 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0
43 -1 -1 -1 -1 66 -1 41 -1 -1 -1 26 7 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0

```

每一個 element 都是一個 $z \times z$ 矩陣，數字部份則為此 $z \times z$ 單位矩陣向右循環平移的量，基本矩陣的 column 為 $24 \times z = n$ ，因此給定一個碼長，即可計算出 z 的大小，再將 $z \times z$ 矩陣向右循環平移，即可產生所使用之位元檢查碼矩陣(parity check matrix)，編碼器與解碼器都使用相同的位元檢查碼矩陣來做編碼與解碼的動作。

模擬結果

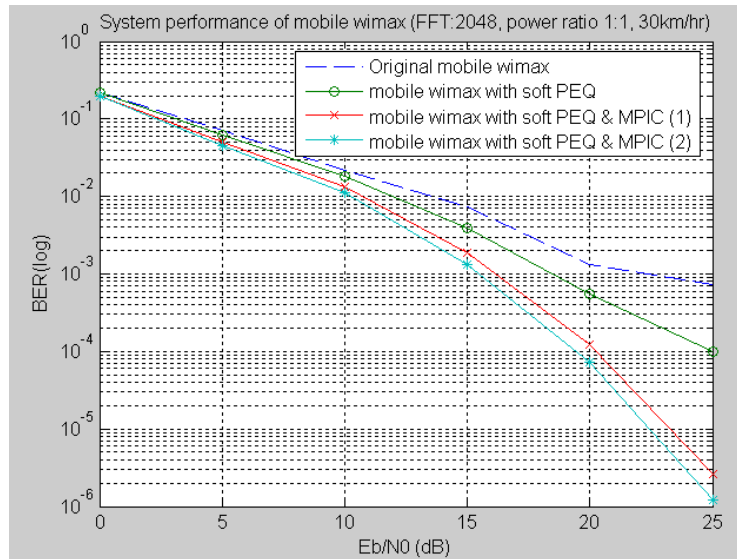
本計畫主要在於設計具有多重碼技術、多路徑干擾消除技術及低密度位元檢查碼編碼之行動 Wimax 系統，表一為本計畫行動 Wimax 系統設計所使用之模擬參數，本計畫是選用行動 Wimax 之符元長度為 2048 點之模式來進行模擬，其它模式亦可用相同的方法設計，可獲得相似之結果。本計畫所使用的模擬通道為 1:1 之 Rayleigh 衰變通道，車速為 30km/hr 及 120km/hr，其所對應的最大都卜勒頻率為 19.44Hz 及 77.78Hz。

表一 模擬參數

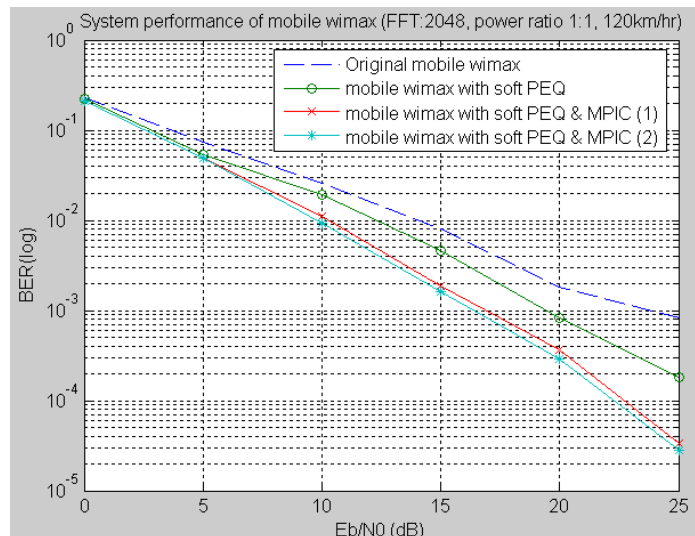
	Parameter
Mobile Wimax System Mode	2048
Modulation	QPSK
Carrier frequency	700MHz
PEC parameter	$\beta = 0.5, 0.7$
Number of data subcarriers	1440
Number of subcarriers	2048
Useful symbol time	91.4 μ s
Guard interval (1/4)	22.85 μ s
Overall symbol time	114.25 μ s
Vehicle speed	30 km/hr, 120 km/hr
Doppler frequency	19.44Hz, 77.78Hz
Path number	2
Max delay spread	5.67 μ s (127 samples)
LDPC code rate	1/2
LDPC code length	1440

圖六為本計畫所設計之具備多重碼技術與多路徑干擾消除技術之行動 Wimax 系統效能模擬，所選用的模式為行動 Wimax 長度為 2048 之模式，在這邊假設通道估計與同步都是最佳化，且二者系統皆未使用解碼的情況。通道功率比為 1:1 之 Rayleigh 通道，車速設定為 30km/hr。從模擬的圖可以知道，本計畫所設計的系統都有不錯的性能表現，以 10^{-3} 誤碼率來看，使用單純的軟式部份等化運算，可提升性能約 3dB，如果使用軟式部份等化運算在加上一級的軟式多路徑干擾消除技術，性能提升程度約可達 5dB，如果使用軟式部份等化運算在加上二次遞迴的多路徑干擾消除技術，則性能可進一步增加 0.8dB 左右。圖七為系統在車速 120km/hr 的表現，使用軟式部份等化運算，可提升性能約 3.8dB，使用軟式部份等化運算加上一級的軟式多路徑

干擾消除技術，可以提升性能達 7dB 左右。系統在高車速可以有更好的性能表現，是因為系統可以利用通道的多路徑特性，達到路徑分集的效益，因此可以有更好的表現。系統效能的改善程度，會隨著軟式多路徑干擾消除的使用次數增加而慢慢收斂。

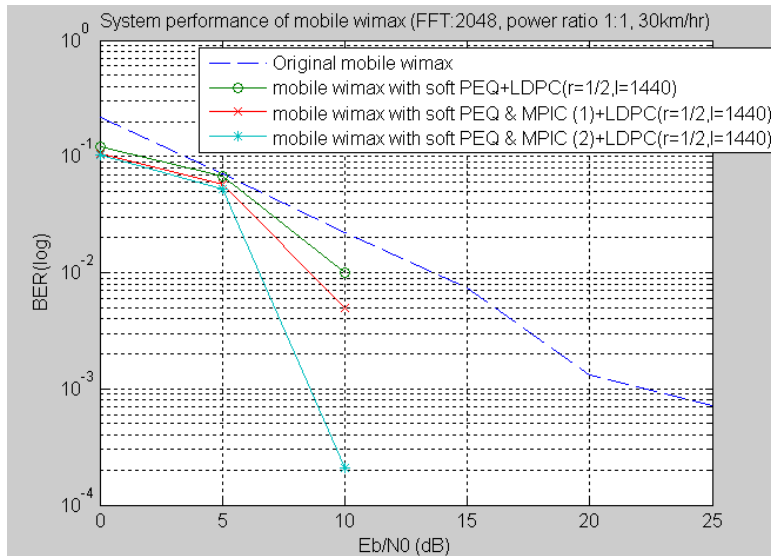


圖六 行動 Wimax 之系統性能比較(長度為 2048，功率比為 1:1，車速 30km/hr)

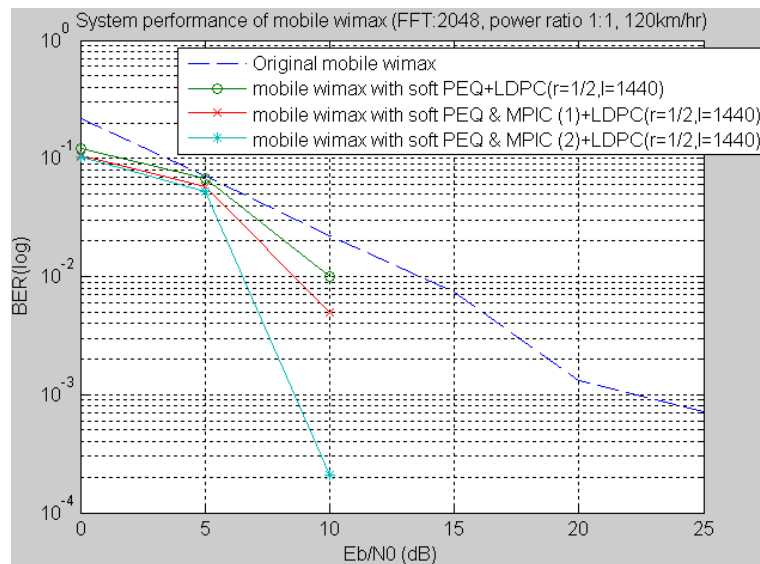


圖七 行動 Wimax 之系統性能比較(長度為 2048，功率比為 1:1，車速 120km/hr)

圖八為本計畫所設計的行動 Wimax 系統加上 LDPC 碼之性能表現模擬，所用的通道為功率比 1:1 之雙重路徑 Rayleigh 衰變通道，車速為 30km/hr，使用碼長為 1440，碼率為 1/2，由模擬可以知道，所設計的系統有不錯的表現，以誤碼率 10^{-2} 來看，使用軟式部份等化運算，系統即可以有相當的增益，在加上軟式多路徑干擾消除技術，系統提升的程度會更明顯，不過一樣隨著多路徑干擾消除的技術使用的次數增加，改善的幅度會慢慢變小，因此考慮運算複雜度與效能改善之間的平衡，用 2~3 次的遞迴運算即可。圖九則是車速為 120km/hr 之系統性能模擬。



圖八 行動 Wimax 之系統性能比較(長度為 2048，功率比為 1:1，車速 30km/hr)



圖九 行動 Wimax 之系統性能比較(長度為 2048，功率比為 1:1，車速 120km/hr)

結論

本系統所設計之具多重碼技術與多路徑干擾消除技術之行動 Wimax 系統，可以利用展頻的特性將訊號的能量分散到所有的載波上，以對抗多路徑衰變通道的影響，同時在接收機使用軟式部份等化運算與多路徑干擾消除運算，可以減低多路徑訊號之間的干擾，因此進一步提升系統的效能，加上 LDPC 碼的編解碼，所設計的系統可以有不錯的表現。目前要考量的是系統運算複雜度的問題，這將是可以在未來研究改進的地方。