I329434

95年8月22日修(更)正替換頁

公告本

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：P5128878

※申請日期：95.8.15　　　※IPC 分類：H04J 11/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)　　　G06K 17/00 (2006.01)

消除正交分頻多工系統中因通道時變產生載波間干擾的方法

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

代表人：(中文/英文)黃威

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路1001號

國　籍：(中文/英文)中華民國 TW

三、發明人：(共 1 人)

姓　名：(中文/英文)1‧吳文榕

2‧許兆元

國　籍：(中文/英文)1‧中華民國 TW

2‧中華民國 TW

四、聲明事項：

☑ 主張專利法第二十二條第二項☑第一款或☐第二款規定之事實，其事實發生日期為：95 年 5 月 24 日。

☐ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號　順序註記】

☐ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號　順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼　順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼　順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

95年8月22日修(更)正替換頁

五、中文發明摘要：

正交分頻多工(OFDM)系統於高速移動的環境下，通道在一 OFDM 符元(symbol)內具有時變特性，此時變特性會造成載波間正交性喪失而互相干擾，降低系統效能，因此本發明即在提供一種消除正交分頻多工系統中因通道時變產生載波間干擾的方法，其係利用線性時變通道之干擾矩陣本身的特殊結構，配合牛頓疊代(iteration)法化簡反矩陣運算，並使用快速傅立葉轉換降低運算量，不需使用額外電路即可達到消除載波間干擾之目的。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)、本案代表圖為:第一圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明:

無

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種載波間干擾(intercarrier interference, ICI)消除之方法，特別是關於一種消除由通道時變(time-varying)特性引起之載波間干擾的方法。

【先前技術】

傳統的正交分頻多工(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)系統中，一 OFDM 符元(symbol)所遭受的通道衰減量視為一定值，然而當使用者處於高速移動的環境時，都普勒效應(Doppler effect)使得OFDM符元所遭受之通道衰減變的複雜，會隨著時間迅速變化，即產生所謂的時變特性，其中時變速度與使用者的移動速度有關。由於傳統 OFDM 系統的假設在高速移動的環境中已不成立，載波間的正交性被破壞，造成接收端無法正確解調，系統效能因而降低，因此如何降低或是消除因通道時變產生的載波間干擾對 OFDM 系統來說十分的重要。

目前已知的相關研究中，簡單的解決方法為只保留載波間干擾矩陣的對角元素，而將其他元素的值設為零，由於干擾矩陣為一對角矩陣，其反矩陣運算就會變的十分簡單，再利用矩陣與反矩陣可互相抵銷的概念，將接收訊號乘上干擾矩陣的反矩陣，即可達成干擾消除之目的，但由於省略過多元素，實際的干擾消除效果並不理想。而最為普遍且具有良好的干擾消除效果為強制歸零法(zero forcing, ZF)與最小均方根差法(minimum mean square error, MMSE)，強制歸零法同樣利用了矩陣與反矩陣可互相抵銷的概念，然而當載波數變大時，其反矩陣的運算就會變得非常複雜，

95年8月22日修(更)正替換頁

故此方法存在運算量過大之缺點。另外如美國專利案號第 6816452 號，其係根據移動速度造成的都普勒頻率偏移將傳輸資料的載波間距離放大，雖然可降低載波間干擾，但卻使得資料傳輸速率降低；美國專利案號第 6999539 號所提出之技術則是在時域中利用微分等化器(derivative equalizer)將時變通道變成幾乎靜止的通道，此方法與強制歸零法相似，為了求出等化器必需要進行複雜度相當高的反矩陣運算，同樣必須付出高計算量的代價才能得到較佳的干擾消除能力。

有鑑於此，本發明係針對上述問題，提出一種低複雜度之載波間干擾消除方法。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種消除正交分頻多工系統中，因通道時變特性產生載波間干擾的方法，其係利用線性時變通道之干擾矩陣本身的特殊結構，配合牛頓疊代法(Newton's iteration)化簡反矩陣運算，並使用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)降低運算量。

本發明之另一目的係在提供一種不需使用額外電路之載波間干擾消除方法，僅需使用習知正交分頻多工系統的電路，可有效節省電路成本。

本發明之再一目的係在提供一種可依照不同的訊雜比(signal-to-noise-ratio, SNR)控制計算複雜度之載波間干擾消除方法。

為了達到上述目的，本發明係根據正交分頻多工系統之通道特性計算出一載波間干擾矩陣之反矩陣的初始值，再將接收訊號乘上初始值，以得出一疊代初始值，自疊代初始值開始以疊代方式求出其他級數之疊代值，

95.3.22

接著將每一疊代值分別乘上一對應之權重並累計之，累計後即可得到消除載波間干擾後之訊號。

其中疊代方式係將上一級數之疊代值乘上具有結構性的頻域通道矩陣後，再乘上初始值，得出下一級數之疊代值。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

第一圖為本發明實行載波間干擾消除之實施例的流程圖，由於正交分頻多工系統之通道已先經過估計，通道特性如脈衝響應(impulse response)、頻率響應(frequency response)為已知，因此在步驟 S10 接收受到載波間干擾及雜訊干擾的訊號後，步驟 S12 可根據通道特性計算出一載波間干擾矩陣之反矩陣的初始值X_0，其中X_0為一對角矩陣，其對角線元素$[w_0, w_1, \ldots, w_{N_c-1}]^T$可由式(1)或式(2)求得，而式(1)係以式(3)之範數最小化準則(minimum Frobenius norm criterion)推導得出，式(2)則為式(1)之近似值：

$$w_i = \frac{\tilde{m}_{i,i}^*}{\sum_{j=0}^{N_c-1} |\tilde{m}_{i,j}|^2} \qquad (1)$$

$$w_i \approx \frac{\tilde{m}_{i,i}^*}{\sum_{\mathrm{mod}(i-S:i+S,N_c)} |\tilde{m}_{i,j}|^2} \qquad (2)$$

$$X_0 = \arg\min_{X_0} \| I_{N_c} - X_0 \tilde{M} \|_F^2 \qquad (3)$$

此處N_c為載波數，$\tilde{m}_{i,j}$為載波間干擾矩陣$\tilde{M}$的第(i, j)個元素，而由於載波

間干擾的主要項通常發生在鄰近的載波之間，故式(2)省略了式(1)中部分非鄰近之載波的干擾項，以節省計算量，其中 S 為 $0 \sim N_c/2-1$，$\mathrm{mod}(x,y) = x - y\lfloor x/y \rfloor$。由於時變之通道脈衝響應為 $h_k(n) = h_k + n \times a_k$，此處 h_k 為非時變項，$n \times a_k$ 為時變項，故接收訊號可表示為 $y = (H + D_v A)x + z$，其中 H 為第一行為 $[h_0, h_1, \ldots, h_{N_c-1}]^T$ 之循環矩陣(circulant matrix)，A 為第一行為 $[a_0, a_1, \ldots, a_{N_c-1}]^T$ 之循環矩陣，D_v 為對角線元素為 $[0,1,\ldots,N_c-1]^T$ 之對角矩陣，x 為傳送訊號，z 為雜訊，而頻域之接收訊號 $\tilde{y}$ 係將 y 經過傳立葉轉換，因此載波間干擾矩陣 $\tilde{M}$ 即 $(H + D_v A)$ 矩陣經過傳立葉(G)及反傳立葉(G^H)轉換後的結果 $G(H + D_v A)G^H$，故 $\tilde{M}$ 可由式(4)事先計算得出，

$$\begin{aligned} \tilde{M} &= G(H + D_v A)G^H \\ &= D_{\tilde{h}} + G D_v G^H D_{\tilde{a}} \end{aligned} \qquad (4)$$

此處 $D_{\tilde{h}} = GHG^H$、D_v 及 $D_{\tilde{a}} = GAG^H$ 均為對角矩陣。

求出初始值 X_0 後，由於載波間干擾之反矩陣 X_k 與接收訊號 $\tilde{y}$ 的乘積以牛頓疊代法展開後可表示為 $X_k \tilde{y} = \sum_{m=0}^{2^k-1} c_m^k (X_0 \tilde{M})^m X_0 \tilde{y}$，其中 k 為選擇之疊代次數，而 c_m^k 為牛頓疊代法第 k 次疊代中級數 m 之係數，k 值越大代表疊代次數越高，在一般移動速度下，X_k 與反矩陣的實際值越相近，因此所能達到的干擾消除效果越好，但同時計算量也會增高，通常疊代次數在 3 到 4 次即可得到相當好的干擾消除效能，此時令 $\bar{x}_k = X_k \tilde{y}$，$\bar{s}_m = (X_0 \tilde{M})^m X_0 \tilde{y}$，可發現消除載波間干擾後之訊號 $\bar{x}_k$ 可表示為式(5)：

$$\bar{x}_k = \sum_{m=0}^{2^k-1} c_m^k \bar{s}_m \qquad (5)$$

且 $\bar{s}_{m+1} = (X_0 \tilde{M}) \bar{s}_m$，故在以疊代方式計算 $X_k \tilde{y}$ 時，步驟 S14 係先將接收訊號 $\tilde{y}$ 乘

上初始值X_0，得出一疊代初始值$\bar{s}_0 = X_0\tilde{y}$，再如步驟S16所示以疊代方式求出$\bar{s}_1$至$\bar{s}_{2^k-1}$之疊代值，因$\tilde{M}$為如式(4)所示之$(H+D_v A)$矩陣經過傅立葉及反傅立葉轉換後的結果$\tilde{M} = D_{\hat{h}} + GD_v G^H D_{\hat{a}}$，因此步驟S16之疊代方式係先如步驟S162所示，將上一級數之疊代值$\bar{s}_m$乘上具有快速傅立葉轉換(FFT)及反快速傅立葉轉換(IFFT)結構之通道特性後，再如步驟S164所示乘上初始值X_0，得出下一級數之疊代值$\bar{s}_{m+1}$，而求得每一級數之疊代值後，在步驟S18執行式(5)，將每一疊代值$\bar{s}_m$分別乘上對應係數c_m^k並累計之，累計結果即為消除載波間干擾後之訊號$\bar{x}_k$。

將本發明實際經由電腦模擬與習知之強制歸零法及習知保留載波間干擾矩陣之對角元素以進行反矩陣運算的技術比較，其中參數之設定為$N_c = 128$，保護區間(guard interval)為16，傳送訊號係經過16-QAM調變，通道長度為15，通道特性之非時變項h_k為從$N(0,\sigma_h^2/2) + jN(0,\sigma_h^2/2)$隨機產生，其中$N(\mu,\sigma^2)$為平均值為$\mu$，變異數為$\sigma^2$之高斯分布(Gaussian distribution)，時變項a_k的振幅為$2\times10^{-3}|h_k|$，相位則是在$(-\pi,\pi]$中以均勻分布(uniform distribution)隨機產生，初始值X_0係以式(1)求得。模擬結果係如第二圖所示，以”proposed method”標示之本發明所提出的干擾消除方法在疊代次數3~4次時，系統的錯誤率已幾乎與強制歸零法(圖中標示為”direct ZF method”)一致，且只要採用1次疊代，就可以較標示為”conventional method”之習知保留載波間干擾矩陣之對角元素以進行反矩陣運算之技術有大幅干擾消除能力的增進。

而第三圖之模擬設定係將初始值X_0改以式(2)計算得出且S設為2，由

圖中可以看出，以式(2)與式(1)求得之初始值可達成相同的干擾消除效能。下方表一為進行第三圖之模擬時，本發明與強制歸零法所需使用之運算量的比較，不論是實數乘法、實數除法或實數加法數本發明均遠小於強制歸零法，證明了利用上述的疊代計算以及快速傅立葉轉換，本發明不但可有效消除載波間干擾，使錯誤率降低，更具有低複雜度之優點，且由於快速傅立葉轉換之電路已存在於OFDM系統的電路中，本發明不需使用額外電路，可節省成本。

表一

方法	實數乘法數	實數除法數	實數加法數
強制歸零法	2943616	16512	2886336
本發明2次疊代	18944	256	21888
本發明3次疊代	41472	256	49024
本發明4次疊代	86528	256	103296

以上所述係藉由實施例說明本發明之特點，其目的在使熟習該技術者能瞭解本發明之內容並據以實施，而非限定本發明之專利範圍，故，凡其他未脫離本發明所揭示之精神所完成之等效修飾或修改，仍應包含在以下所述之申請專利範圍中。

【圖式簡單說明】

第一圖為本發明一實施例之流程圖。

第二圖為以式(1)計算初始值時，本發明與習知技術所能達到的干擾消除效

能的模擬結果。

第三圖為以式(2)計算初始值時，本發明與習知技術所能達到的干擾消除效能的模擬結果。

【主要元件符號說明】

無

補充、修正日期：99年5月14日

年 月 日修(更)正替換頁

十、申請專利範圍：

1. 一種消除正交分頻多工系統中因通道時變產生載波間干擾的方法，包括下列步驟：

根據正交分頻多工系統之通道特性計算出一載波間干擾矩陣之反矩陣的初始值；

將受到載波間干擾的接收頻域訊號乘上該初始值，得出一疊代初始值；

自該疊代初始值開始以疊代方式求出其他級數之疊代值；以及

將每一該疊代值分別乘上對應之權重並累計之，累計結果即為消除載波間干擾後之訊號，其中該權重係牛頓疊代法中各級數之係數。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該初始值係利用範數最小化準則(minimum Frobenius norm criterion)求得。

3. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該初始值係一對角矩陣。

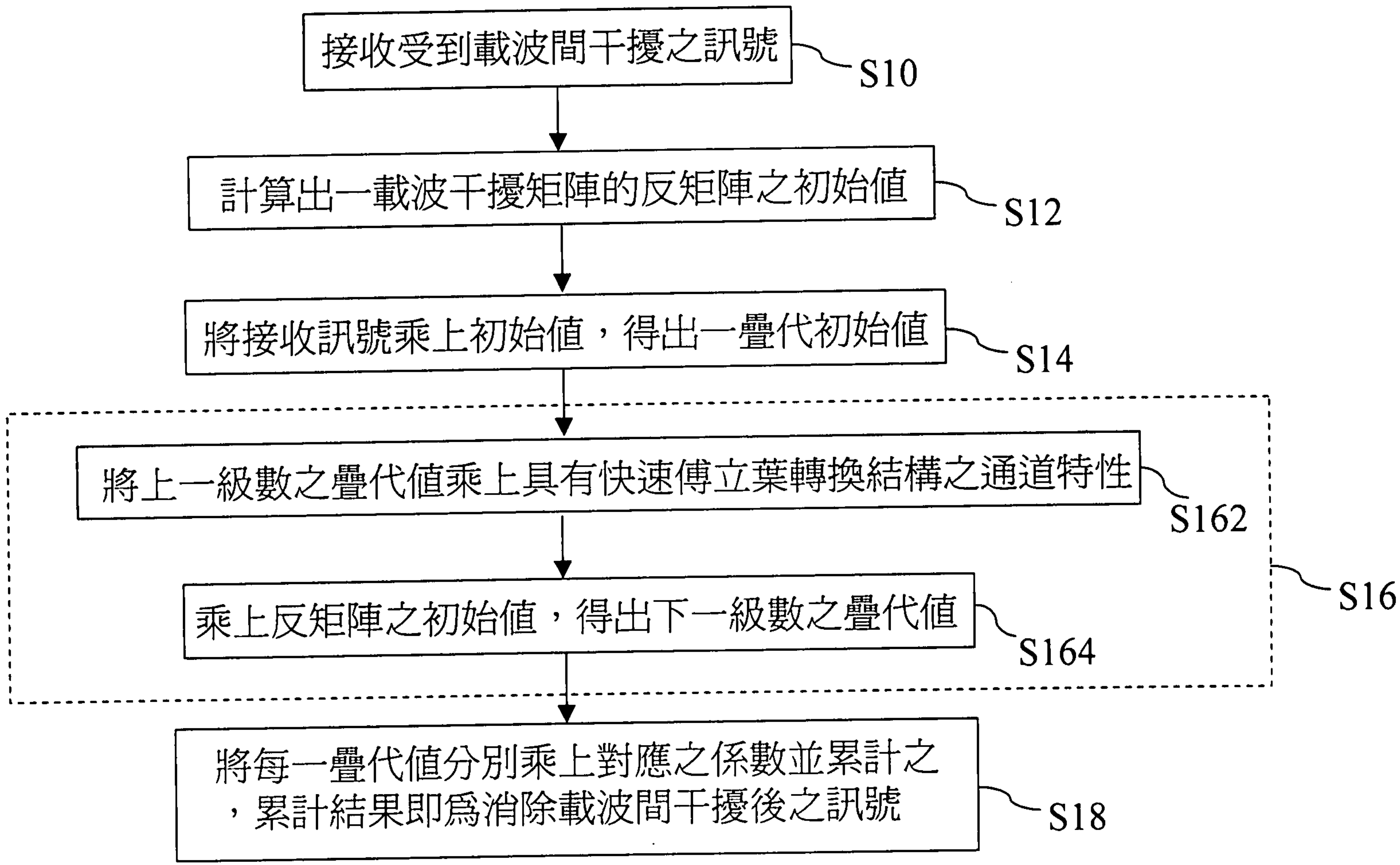
4. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中該對角矩陣之對角線元素 $[w_0, w_1, \cdots, w_{N_c-1}]^T$ 係經由 $w_i = \dfrac{\tilde{m}_{i,i}}{\sum_{j=0}^{N_c-1} |\tilde{m}_{i,j}|^2}$ 或 $w_i \approx \dfrac{\tilde{m}_{i,i}}{\sum\limits_{\mathrm{mod}(i-S:i+S,N_c)} |\tilde{m}_{i,j}|^2}$ 計算得出，其中該 N_c 為載波數，該 $\tilde{m}_{i,j}$ 為載波間干擾矩陣 $\tilde{M}$ 之第(i, j)個元素，該 $\tilde{M}$ 為該通道特性經過傅立葉及反傅立葉轉換後的結果 $\tilde{M} = D_{\tilde{h}} + G D_v G^H D_{\tilde{a}}$。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該疊代值之級數數目係與所能達到之干擾消除效能有關。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該疊代方式係將上一級數之疊代值乘上具有快速傅立葉轉換(FFT)及反快速傅立葉轉換(IFFT)結構性的頻域通道矩陣，再乘上該初始值，得出下一級數之疊代值。

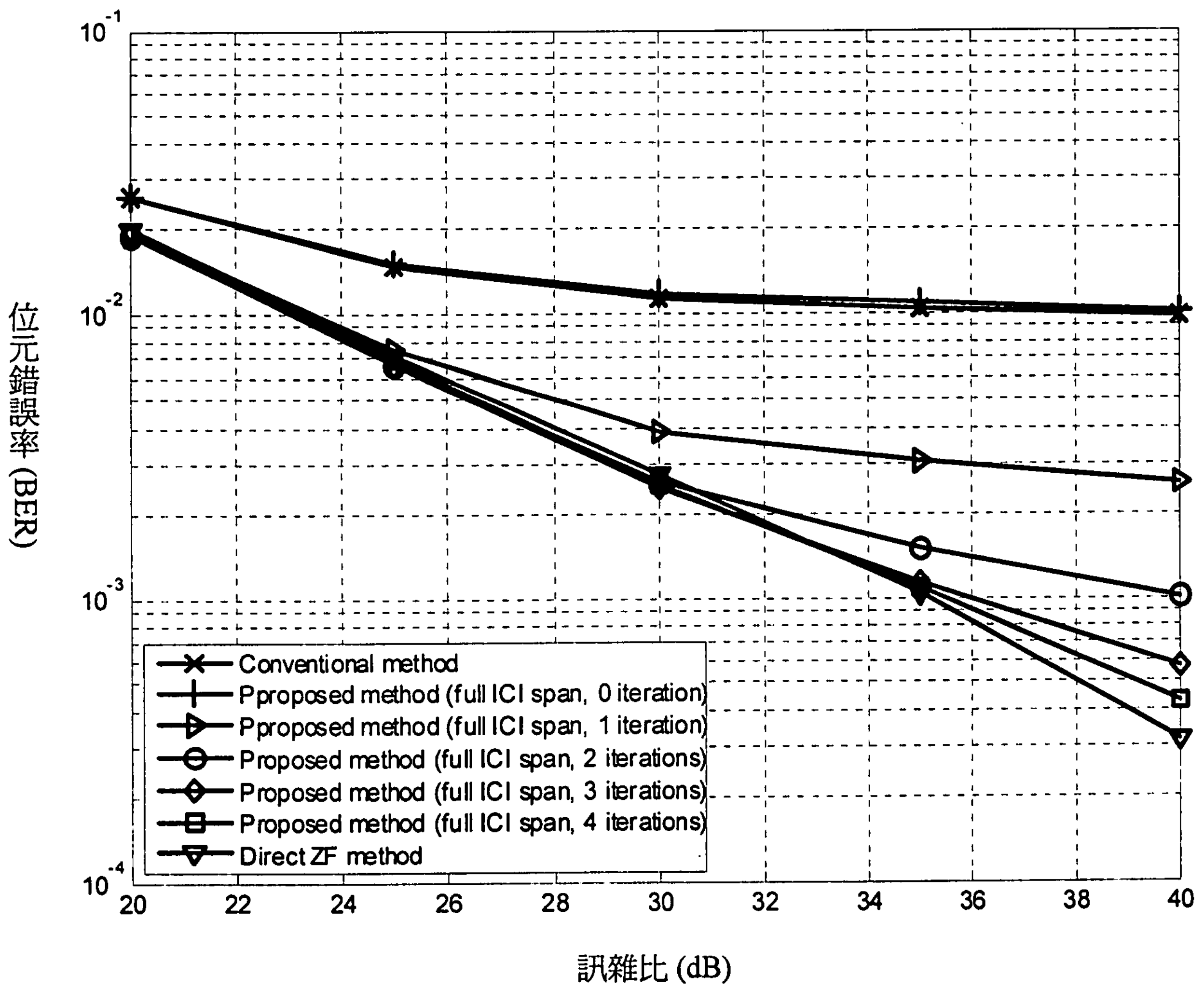
補充、修正日期：99年5月14日

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中將每一該疊代值分別乘上對應之權重並累計之步驟係利用 $\bar{x}_k = \sum_{m=0}^{2^k-1} c_m^k \bar{s}_m$ 之算式進行，其中該 $\bar{x}_k$ 為消除載波間干擾後之訊號，該 $\bar{s}_m$ 為該疊代值，該 c_m^k 為該權重。


接收受到載波間干擾之訊號
S10
計算出一載波干擾矩陣的反矩陣之初始值
S12
將接收訊號乘上初始值，得出一疊代初始值
S14
將上一級數之疊代值乘上具有快速傅立葉轉換結構之通道特性
S162
乘上反矩陣之初始值，得出下一級數之疊代值
S164
S16
將每一疊代值分別乘上對應之係數並累計之，累計結果即為消除載波間干擾後之訊號
S18

第一圖

補充、修正日期：99年5月14日

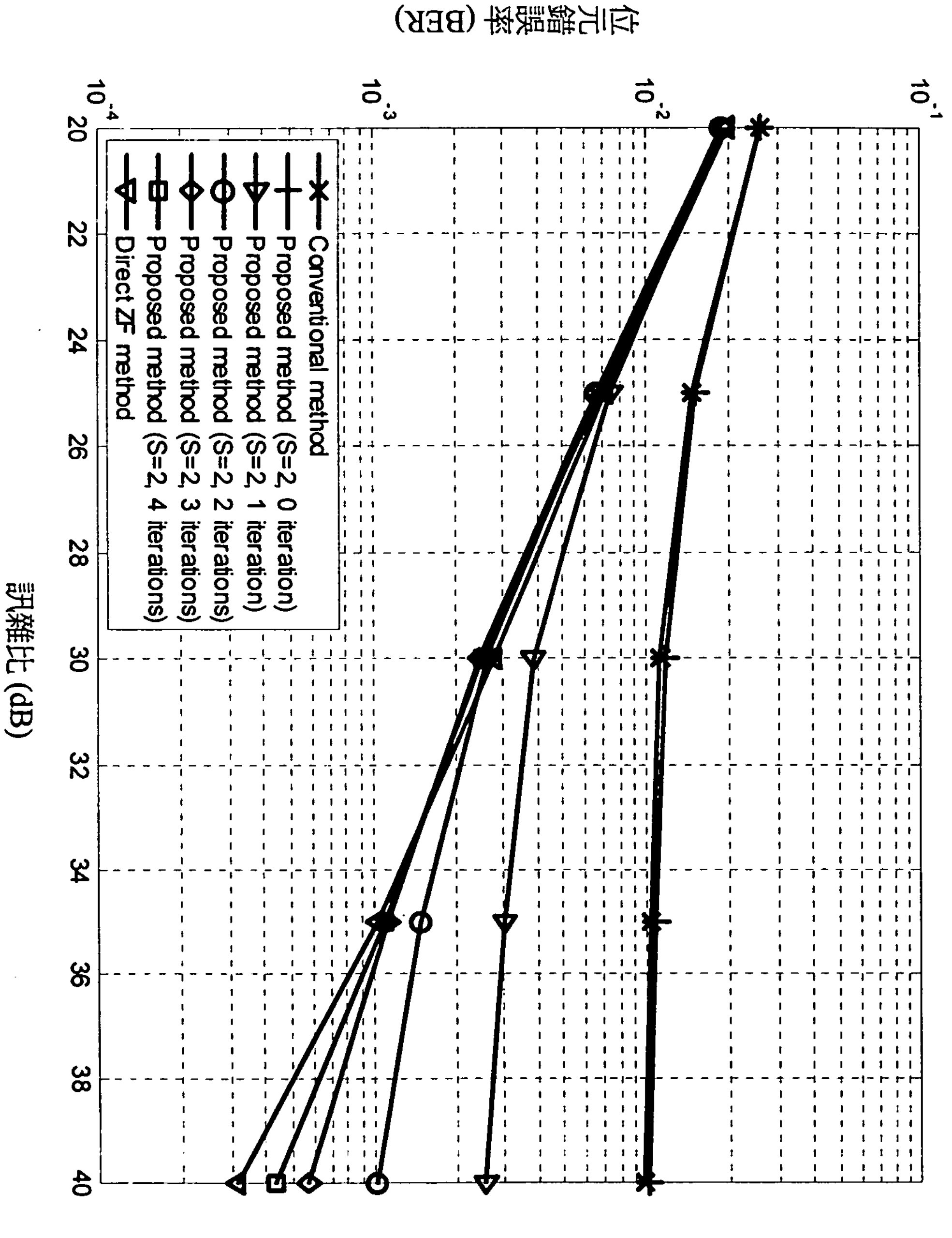


第二圖

I329434

補充、修正日期：99年5月14日

99. 5. 14



第三圖