

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

減緩調適等化與時序恢復之間的互動/ MITIGATING INTERACTION
BETWEEN ADAPTIVE EQUALIZATION AND TIMING RECOVERY

【交叉參考資料】

【0001】 本申請案涉及於 2016 年 5 月 10 日所提出，標題為「TIMING RECOVERY WITH ADAPTIVE CHANNEL RESPONSE ESTIMATION」的第 15/151,154 號同時待決、共同指定轉讓之美國專利申請案，以及於 2016 年六月 23 日所提出，標題為「RESOLVING INTERACTION BETWEEN CHANNEL ESTIMATION AND TIMING RECOVERY」的第 15/191,229 號同時待決、共同指定轉讓之美國專利申請案。上述專利申請案的內容在此以引用方式完整併入本文中。

【技術領域】

【0002】 本發明一般係關於通訊中信號處理的領域，尤其係關於信號處理中時序恢復的領域。

【背景技術】

【0003】 在通訊系統當中，一發射器以符號將資料串流傳送至一接收器，像是資料位元。由於該接收器時脈通常未與該發射器時脈同步，該接收器需要從所接收的信號本身正確恢復該時脈。此外，當資料通過通訊通道傳輸時，由於許多種噪訊，像是衰退、震盪器飄移、頻率與相位偏移以及接收器熱噪訊，相位與幅度通常會扭曲。在該接收器上，該系統也會在時域內遭遇噪訊以及時序抖動。因此，該接收器需要一時序恢復處理，以獲得符號同步，尤其是修正該時脈延遲並獲得用來取樣該已接收信號以及實現最佳訊噪比(SNR, Signal-to-Noise Ratio)的最佳時脈相位。

【0004】 通常在一接收器的等化器型時序恢復迴圈內，運用一調適等化器來減緩該通道扭曲所導致的符號間干擾(ISI, intersymbol interference)的影響。一調適等化器可讓該等化處理經過調適，來隨時間改變通道特性。通常，利用動態調適等化參數，像是等化濾波器的分支加權，來執行該調

適。

【0005】 調適等化本身也會導致修正嵌入該已接收信號內該輸入時脈的時間延遲，這會不適當地干擾到該總時序恢復迴圈執行的該時脈恢復處理，例如由該相同時序恢復迴圈內的一相位偵測器、一迴圈濾波器以及一 VCO 來執行。尤其是，該干擾可能導致已恢復的資料符號偏離其最佳位置。如此，吾人想要該時序恢復迴圈只修正該已接收信號內該輸入時脈的延遲。

【0006】 傳統上，通過一旦實現獲取時凍結或減慢該等化器的調適，來解決調適等化器與該相關時序恢復迴圈之間的該問題互動。更特別是，該等化濾波器的所有分支加權都固定或以小步階調適，以避免與該時序恢復迴圈在時間延遲修正方面的互動。不幸的是，凍結或減慢該等化器調適處理不可避免會損害到等化器追蹤通道特性隨時間變化之能力。

【簡述】

【0007】 因此，本文揭示一種降低或消除有關一等化器型時序恢復迴圈內調適等化與時序恢復之間時脈延遲修正的該互動，並仍舊保留該等化處理內該調適能力之機制。

【0008】 本發明的具體實施例使用能夠偵測來自等化調適的時脈延遲結果內修正之等化器，並據此在該時脈恢復的時序恢復迴圈內將一已等化信號傳送至一相位偵測器以及其他下游組件之前補償該修正。更特別的是，在一等化調適處理中，該等化器係數隨一通訊通道的時間變化通道特性動態調適。在此同時，決定一當前濾波器中心(COF, Center of Filter)值，並用來當成用於來自該等化調適的時脈延遲修正之度量。在某些具體實施例內，根據該相位偵測器的組態，將 COF 定義為一或多個分支加權的函數。

【0009】 在操作期間，該等化濾波器的該分支加權隨時間改變，來調適該通訊通道特性內的變化。計算該濾波器的當前 COF 值並與一標稱 COF 值比較，來產生一 COF 偏移。根據該 COF 偏移，利用內插/外插另一組選取的分支加權，來調整一組選取的分支加權。將該已調整的分支加權回饋進行調適等化，如此接著導致降低 COF 偏移。結果，補償了該調適等化處理所導入的時脈延遲修正，並且可有效並有利地避免其與該時序恢復迴圈

的互動。

【0010】 根據本發明的一個具體實施例，一種用於透過序列連結所傳輸信號的時序恢復之方法包括：產生回應一調適等化處理內一數位輸入信號的一已等化信號。與該數位輸入信號相關聯的時脈延遲內之修正係由動態等化調適所引起。利用監控該等化濾波器的一 COF 值，可偵測到該時脈延遲內的修正。根據該 COF 值，通過更新該等化濾波器的已選取分支加權來調整該等化處理，藉此補償等化調適所引起的該已偵測修正。

【0011】 上述為總結，因此必須簡單扼要並且省略細節；因此精通技術人士將了解，該總結僅為例示，並不成為任何限制。從下列非限制的詳細說明當中，將了解如同申請專利範圍所單獨定義的本發明之其他態樣、發明特色以及優點。

【圖式簡單說明】

【0012】 從下列詳細說明並參考附圖可對本發明的具體實施例有通盤了解，其中相同的參考字元用於指示相同的元件，其中：

【0013】 第一圖根據本發明的具體實施例，例示可補償等化調適所引起時脈延遲修正的一示範等化器型時序恢復迴圈之組態；

【0014】 第二圖根據本發明的具體實施例，例示耦合至一調適等化器並可操作來偵測與補償該調適等化器所導入時脈延遲修正的示範控制邏輯之組態；

【0015】 第三圖根據本發明的具體實施例，例示可用於一等化器型時序恢復迴圈內的示範相位偵測器之組態；

【0016】 第四圖根據本發明的具體實施例，例示耦合至該等化器濾波器的示範 COF 補償邏輯之組態；

【0017】 第五圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適已啟用並且 COF 修正已停用的一示範等化處理之偽碼流程圖；

【0018】 第六圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適以及 COF 修正都已啟用的一示範等化處理之偽碼流程圖；以及

【0019】 第七圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適以及 COF 修正都已啟用的一示範等化處理之偽碼流程圖。

【實施方式】

【0020】 在此將詳細參考本發明的較佳具體實施例，附圖內將說明其範例。雖然本發明將結合較佳具體實施例來說明，吾人將瞭解這並不用於將本發明限制在這些具體實施例上。相反地，本發明用於涵蓋申請專利範圍領域與精神內所包含之變化、修改與同等配置。更進一步，在下列本發明具體實施例的詳細說明中，將公佈許多特定細節以提供對本發明有通盤瞭解。不過，精通此技術的人士將會了解到，不用這些特定細節也可實施本發明。在其他實例中，已知的方法、程序、組件和電路並未詳述，如此就不會模糊本發明具體實施例的領域。儘管為了清楚起見，可以將方法描繪為一系列編號的步驟，但編號並不一定指示該等步驟的順序。應該理解的是，某些步驟可以跳過、同時執行或者不需要保持嚴格的執行順序。顯示本發明具體實施例的圖式是半示意性並且未依照比例，特別是某些尺寸為了清晰呈現，並且在圖式內誇大顯示。類似地，儘管為了便於描述，圖式中的視圖通常顯示類似的方位，但是圖式中的這種描述對大多數零件而言是任意的。一般來說，本發明適用於任何方位。

減緩調適等化與時序恢復之間的互動

【0021】 整體而言，本發明的具體實施例提供一種時序恢復機制，用於恢復一時脈信號並仍舊保留避免一調適等化器與該整體時序恢復迴圈之間有關時脈相位恢復的非所要互動之能力。尤其是，針對一等化器濾波器(或等化濾波器)，使用一當前濾波器中心(COF)值與一標稱 COF 值之間的該偏移，作為來自於一調適等化處理的一時脈相位修正之度量。在某些具體實施例內，一 COF 可定義為兩選取的分支加權或等於一選取的分支加權之函數。調整等化器濾波器的分支加權來降低該偏移，例如利用根據該偏移內插/外插選取的分支加權。在此方式中，已補償由該調適等化處理所產生的該時脈延遲修正，並降低或消除其與該時序恢復處理的潛在互動。

【0022】 如上述，當一等化器調適該時間變動通道特性時，該等化器可導致時脈延遲修正。該調適通常利用調適該等化器濾波器的分支加權來實現。第一圖根據本發明的具體實施例，例示可補償等化調適所引起時脈

延遲修正的一示範等化器型時序恢復迴圈 100 之組態。

【0023】 如所示，時序恢復迴圈 100 包括一類比數位轉換器(ADC，Analog-to-Digital Converter) 110、一等化器 111、一限幅器 112、一選擇器 113、一相位偵測器 114、一迴圈濾波器 115 以及一電壓控制震盪器(VCO，Voltage Controlled Oscillator) 116。ADC 110 將一已接收的類比信號 R_x 101 轉換成數位信號 d_k 102，然後供應給等化器 111 和限幅器 112。等化器 111 用來在該信號呈現一平坦的頻率響應，並輸出一等化信號 x_k 103。在限幅器 112 上取樣之後，產生已評估的符號 a_k 104 並供應至相位偵測器 114。

【0024】 利用比較已等化信號 x_k 103 與已評估的符號 a_k 104，來產生一錯誤信號 e_k 105。錯誤信號 e_k 105 和等化信號 x_k 103 也通過選擇器 113 送至相位偵測器 114。

【0025】 相位偵測器 114 根據選擇器輸出 e'_k 107 和已評估的符號 a_k 104 之間的差異，來產生一相位誤差。迴圈濾波器 115 將該相位誤差平均，並且 VCO 116 根據該平均相位誤差調整該有效取樣頻率與相位。結果，從 VCO 116 產生一已恢復時脈信號 106，並依次用來對取樣用的 ADC 110 計時以及用來對下游處理邏輯計時。通過一訊噪比(SNR)或其他有關資料串流內噪訊位準的合適參數，指示符號同步的效能。

【0026】 在業界內熟知的任何合適組態中都可實現相位偵測器 114、迴圈濾波器 115 和 VCO 116。例如：相位偵測器 114 可以基於 Mueller Muller 演算法，如底下更詳細的說明。迴圈濾波器 115 可為典型數位濾波器，用於一第二階相位鎖定迴圈(PLL，Phase Lock Loop)。VCO 116 可包括一相位鎖定迴圈(PLL)。另外，可用運用一可程式增益元件、一數位內插器及/或一類比內插器的一相位內插器取代 VCO 116。例如：該數位內插器包括一暫存器以及一加總器。該類比相位內插器接收一參考時脈，並輸出一相位屬於輸入功能的一時脈信號。此外，在不背離本發明領域之下，可補償由等化調適所引起時脈延遲修正的一等化器型時序恢復迴圈可包括業界內熟知的許多其他組件。

【0027】 調適等化器 111 可為透過一有限脈衝響應(FIR，Finite Impulse Response)濾波器實現的一前饋等化器(FFE，Feed-Forward

Equalizer)，或包括一 FFE 和一回饋等化器(FBE，Feedback Equalizer)的一決策導向等化器(DDE，Decision-Directed Equalizer)。不過，本發明並不受限於此。

【0028】 該等化器濾波器(例如一 FIR 濾波器)為一調適濾波器，可讓其追蹤一傳輸通道隨時間的任何變化。在調適期間，通過具有可程式步階大小用於該等分支的一最小均方(LMS，Least-Mean-Square)調適處理，可更新該等化器濾波器的該等分支加權。尤其是，對於主要三個分支通常具有不同步階大小，換言之就是該參考分支(RefTap，Reference Tap)以及該 RefTap 之前與之後的分支。

【0029】 該調適也可導致該通道內時間延遲的修正。如上述，這是有問題的，因為它可能會干擾整個時序恢復迴圈的時序恢復。根據本發明，調適等化器 111 耦合至控制邏輯 120，其設置來控制等化調適，來消除或避免時間延遲修正內的干擾。

【0030】 根據本發明的一個態樣，利用減慢或中止該等化器內選取的主要分支之調適，可消除時脈延遲修正內的干擾。尤其是在某些具體實施例內，控制邏輯 120 可在該等化處理期間偵測一 SNR，例如在該等化信號內。在一滿足的 SNR 達成之後，控制邏輯 120 指示凍結該等化器濾波器的該 w_{-1} 分支(該 RefTap 之前)和 w_1 分支(該 RefTap 之後)之該等分支加權，例如利用將 w_{-1} 和 w_1 分支的該步階大小設定為 0。所有其他加權(分支)可繼續調適。結果，該等化器濾波器的調適大體上變慢。

【0031】 在某些其他具體實施例內，控制邏輯 120 可相對於該時序恢復迴圈 $1/BW$ 減慢該等化器濾波器內該等主要分支的調適，其中 BW 為該時序恢復迴圈頻寬。例如：這利用主要兩加權(w_{-1} 和 w_1 分支)所使用的小步階大小就可達成。所有其他分支都能以較高速度，調適隨時間的通道變化。

【0032】 根據本發明的另一個態樣，該控制邏輯設置成即時偵測等化濾波器調適時所導致時間延遲修正的總量，並利用修改該濾波器的該等分支加權來動態補償該修正。本發明並不受限於用來監控得自於該等化調適的時間延遲修正量之任何特定參數。

【0033】 如底下更詳細說明，在某些具體實施例內，濾波器中心

(COF, Center of Filter)可用來當成調適等化期間所導入一時脈延遲修正之度量。在某些具體實施例內，濾波器中心(COF)的定義取決於該時序恢復迴圈內所使用該相位偵測器的類型(如第三圖內所示)。在本文內詳述的範例中，

$$COF = \begin{cases} w_1 - w_{-1} & PD \text{ Type A} \\ w_{-1} & PD \text{ Type B} \end{cases}$$

(等式 1)

其中 w_j 為該 RefTap 之後該分支的加權並且 w_{-j} 為該 RefTap 之前該分支的加權，該 RefTap 為關聯於最高分支加權的分支。在由於調適或 COF 補償的等化器加權內任何改變之後，該 COF 可連續計算並儲存到一暫存器。將可了解，本發明並不受限於 COF 的任何規定定義。另外，COF 的定義會隨該時序恢復迴圈及其內組件的特定組態而變。

【0034】 第二圖根據本發明的具體實施例，例示耦合至一調適等化器 210 並可操作來偵測與補償調適等化器 210 所導入時脈延遲修正的示範控制邏輯 220 之組態。將可了解，本發明並不受限於任何特定等化器類型或任何特定處理或調適等化的機制。該等化器的實現取決於特定具體實施例內的該調適處理，像是 LMS 調適處理或業界內熟知的任何其他方法。在此範例中，等化器 210 包括具有多個分支的一濾波器，例如具有 8 分支的一 FIR 濾波器。利用等化器 210 內該調適邏輯來控制，通過一 LMS 調適處理來調適該等化器濾波器的分支加權。

【0035】 根據本發明的具體實施例，控制邏輯 220 包括 SNR 偵測模組 221、一模式選擇模組 222 以及補償邏輯 230。補償邏輯 230 設置成即時偵測，並據此補償該調適等化處理所引起的該時脈相位修正。在例示的範例內，補償邏輯 230 配備 COF 偏移決策邏輯 231，根據等化器 210 內該濾波器的該等分支加權來計算 COF 偏移。COF 偏移對應至當前 COF 與由 COF_Nom 決策邏輯 233 所決定的一 COF_nom 值間之差異。該 COF 偏移用來指示該調適等化處理所貢獻時脈延遲修正的數量與方向(正或負)。

【0036】 補償邏輯 230 內該內插/外插邏輯 252 內插及/或外插一組選取的分支加權，根據該 COF 偏移來調整另一組選取的分支加權，底下有更

詳細說明。控制邏輯 220 可使用邏輯電路、一可程式微控制器、這兩者的組合，或任何其他合適裝置來實現。

【0037】 模式選擇邏輯 222 通過選擇性停用或啟用其調適邏輯以及補償邏輯 230，來選擇等化器 210 的操作模式。該操作模式可根據由 SNR 偵測邏輯 221 所偵測的該 SNR 來選擇。以下將參閱第五圖至第七圖，更詳細描述許多操作模式。

【0038】 在操作期間，從控制邏輯 220 輸出已調整的分支加權 202，供應回等化器 210 並用於等化，導致降低的 COF 偏移。結果，補償了調適等化所導入的時脈延遲修正，並且可有效並有利地避免其與該時序恢復迴圈的互動。另外，因為基於使用 COF 偏移動態計算的該時間延遲修正做為度量來調整該等分支加權，所以與由該分支加權調整所導致之等化調適的干擾有利地被控制在一最小位準。

【0039】 第三圖根據本發明的具體實施例，例示可用於一等化器型時序恢復迴圈內的示範相位偵測器之組態。該等相位偵測器可用來當成第一圖內的相位偵測器 114。一時序恢復迴圈可配備一或多種相位偵測器。根據已啟用相位偵測器的組態，該 COF 補償邏輯可選擇該對應 COF 計算。圖式 310 顯示基於 Mueller Muller (MM)演算法的「A 型」相位偵測器的組態。該(原始) Mueller-Muller (MM)相位偵測器 A 型如下所示：

$$x_k a_{k-1} - x_{k-1} a_k$$

其中針對等化器型時序恢復， x_k 為第 k 樣本上的該限幅器輸入，並且 a_k 為第 k 樣本上的該限幅器決策(如第一圖內所示)。

【0040】 在 A 型 MM 的替代實施當中，

$$e_{k-1} \cdot (a_k - a_{k-2})$$

等同於：

$$e_{k-1} a_k - e_{k-1} a_{k-2} \\ - (e_{k-1} a_{k-2} - e_{k-1} a_k)$$

【0041】 因為該迴圈將該相位偵測器輸出平均，所以第一項的指數可移位+1，得出：

$$-(e_k a_{k-1} - e_{k-1} a_k)。$$

這等同於原始 A 型 MM 等式。

【0042】 圖式 320 顯示基於 Mueller Muller 演算法的「B(1)型」相位偵測器的組態。圖式 330 顯示基於 Mueller Muller 演算法的「B(2)型」相位偵測器的組態。B(1)型 MM 相位偵測器如下所示：

$$\text{【0043】 } x_k a_{k-1}$$

【0044】 在 B 型 Mueller-Muller PD 的另一個版本中，該限幅器誤差 e_k 取代該限幅器輸入 x_k ，得出：

$$\text{【0045】 } -e_k a_{k-1}。$$

當使用 B 型 MM 相位偵測器時，該時序恢復迴圈將該後體(post-cursor) w_l 歸零。

【0046】 在 B(2)型相位偵測器內，該限幅器誤差 e_k 取代該限幅器輸入 $-x_k$ ，得出：

$$-(e_k a_{k-1} - e_{k-1} a_k)$$

其中該限幅器誤差 e_k 如下所示

$$e_k = a_k - x_k。$$

因為 a_k 的平均為零，所以這兩版本相同。

【0047】 仍舊在 B 型 Mueller-Muller PD 的另一個版本中，該限幅器誤差 e_k 取代該限幅器輸入 x_k ，得出：

$$\text{【0048】 } e_{k-1} a_k。$$

【0049】 COF 對應至這些相位偵測器類型的示範定義呈現於等式 1 內。這些相位偵測器類型的功能為業界內所熟知，因此為了簡化起見，省略其相關詳細說明。將可了解，在不背離本發明範疇之下，也可使用任何其他合適的相位偵測器類型。在這種情況下，COF 的定義可因此改變。

【0050】 第四圖根據本發明的具體實施例，例示耦合至等化器濾波器 410 的示範 COF 補償邏輯 430 之組態。COF 決策邏輯 431 可接收等化器濾波器 410 的該等分支加權 401，並計算等化器濾波器 410 的當前 COF 值(或「該 COF」)，例如等式 1 內所定義。在由於調適或 COF 補償的該等分支

加權之任何改變之後，該 COF 可連續計算並儲存到一暫存器。

【0051】 COF 補償邏輯 430 包括儲存一標稱 COF 值(COF_nom)的一暫存器 433、用來計算該 COF 的 COF 決策邏輯 431、用於產生 COF 偏移的一加總器 435、用於將該 COF 偏移乘上係數 μ 來產生誤差 403 的一乘法器 434 以及內插/外插邏輯 432。

【0052】 在操作期間，若該 COF 相對於 COF_nom 位移，則利用修改該等化器濾波器的一組選取的分支，例如該主要三支，可修正該 COF。一替代方式為修改等化器濾波器 410 的所有該等分支加權。利用內插/外插該主要三或五分支或等等，可執行該等分支加權的修改。

【0053】 例如：若該等化器過濾器的 COF 由於 LMS 而相對於 COF_nom (儲存在該 COF_nom 暫存器內)位移，則利用修改該等化器的該等主要二或一分支來修正該 COF。利用該誤差(例如第四圖內的誤差 403)，來修正該等已更新的兩主要加權：

$$e = \mu \cdot (COF - COF_nom), \quad (\text{等式 2})$$

其中該係數 μ 取決於可程式值 n ，例如 μ 可定義成

$$\mu = \begin{cases} 2^{-n}, & n = 0:30 \\ 0, & n = 31 \end{cases} \quad (\text{等式 3})$$

其中該預設可設定為 $n = 4$ ；並且當 $n = 31$ ，停用該 COF 修正。

【0054】 COF 修正可用許多合適的方法實現。在第一示範方法中，透過基於 3 (或 5) 主要分支的線性內插，執行該 COF 修正。當使用 5 主要分支時，套用一線性內插來取得該 3 個已修正主要分支。當使用 3 主要分支時，使用一內插或外插來取得該 3 個已修正主要分支。

【0055】 為了簡化該實施，差異 $\Delta COF = COF - COF_nom$ 可為大約值，如此該實施可使用一移位器取代一乘法器。例如：

其近似如：

$$\Delta COF \approx \text{sign}(\Delta COF) \cdot 2^{\text{rnd}(\log_2(\text{abs}(\Delta COF)))}$$

其中「rnd」代表四捨五入，並且 abs 代表絕對值。當 $\Delta COF = 0$ ，設定 $e = 0$ 。

【0056】 基於 3 分支加權的兩主要分支(該 RefTap 之前與之後)的修

正可由下式給出：

$$y_1 = (w_1 - w_0) \cdot e + w_1$$

$$y_{-1} = (w_0 - w_{-1}) \cdot e + w_{-1}$$

其中該等 3 個舊的主要加權為 w_{-1} 、 w_0 、 w_1 ，並且新的 3 個加權為 y_{-1} 、 y_0 、 y_1 。在此範例中，該 RefTap 的加權並未修正。

【0057】 然而在替代具體實施例內，該 RefTap 可結合另兩個主要分支的修正來修正，如上所示。該 RefTap 修正可呈現為：

$$y_0 = (w_1 - w_0) \cdot e + w_0, e \geq 0$$

$$y_0 = (w_0 - w_{-1}) \cdot e + w_0, e < 0$$

【0058】 在第二示範方法中，主要 3 分支的修正係基於 5 分支加權，例如：該等新的 3 主要加權 y_i ， $i = -1, 0, +1$ ，可由下式給出：

$$y_i = (w_{i+1} - w_i) \cdot e + w_i, e \geq 0, i = -1, 0, +1$$

$$y_i = (w_i - w_{i-1}) \cdot e + w_i, e < 0, i = -1, 0, +1$$

也就是，

$$y_0 = (w_1 - w_0) \cdot e + w_0, e \geq 0$$

$$y_0 = (w_0 - w_{-1}) \cdot e + w_0, e < 0$$

$$y_1 = (w_2 - w_1) \cdot e + w_1, e \geq 0$$

$$y_1 = (w_1 - w_0) \cdot e + w_1, e < 0$$

$$y_{-1} = (w_0 - w_{-1}) \cdot e + w_{-1}, e \geq 0$$

$$y_{-1} = (w_{-1} - w_{-2}) \cdot e + w_{-1}, e < 0$$

【0059】 在第三示範方法中，以連續循環方式交替調整該兩主要加權 w_1 和 w_{-1} 。例如：

$$w_1 = w_1 - e$$

$$w_{-1} = w_{-1} + e$$

該交替的週期可由一計數器來設定，例如：該週期的預設值設定為 1，並且該修正順序為： w_1 、 w_{-1} 、 w_1 、 w_{-1} 、... 等等。可使用一「STATE」暫存器，並在該計數器到達尾端之後於 0 與 1 之間切換。當 STATE = 0，則更新 w_{-1} ，並且當 STATE = 1，則更新 w_1 。

【0060】 可使用一可程式暫存器「COF_TAP_CORRECTION」，結合

該 STATE 暫存器，來根據 COF 偏移控制要修正哪個分支。例如：該 COF_TAP_CORRECTION 之值可定義如下：

$$\text{COF_TAP_CORRECTION} = \begin{cases} 00, & \text{Corrects} & \text{none} \\ 01, & \text{Corrects} & w_1 \\ 10, & \text{Corrects} & w_{-1} \\ 11, & \text{Corrects} & w_{-1} \& w_1 \text{ (default)} \end{cases}$$

【0061】 雖然本文內所說明的本發明具體實施例使用線性內插/外插，不過也可使用業界內熟知的許多其他合適技術、機制、演算法以及方法，針對 COF 修正來修改該等分支加權。例如：可使用指數或拋物線內插來取代。進一步，針對在業界所熟知的任何其他合適之方法或演算法內的 COF 修正，可更新該等分支加權或一等化濾波器的其他種係數。

【0062】 該 RefTap 位置代表具有最大絕對分支加權的該主要分支之該分支指數。當該等分支加權由於調適或 COF 修正而已經更新，則該 RefTap 可改變至另一個位置(不同的分支指數)。在某些具體實施例內，一旦 RefTap 的位置因為更新該等分支加權而改變(例如主要三個分支)，則忽略該等已更新的分支加權，並且載回這些分支加權的先前值。

【0063】 在不背離本發明領域之下，可使用許多技術、處理、方法及演算法來獲取一 COF_nom。在一個具體實施例內，可根據預期的通道特性指派一 COF_nom 給使用者。在某些其他具體實施例內，透過使用一些候選的 COF_nom 值進行編程選拔，來獲得一 COF_nom。可選擇產生最佳效能的該候選值，當成用於後續信號處理的該 COF_nom。

【0064】 仍舊在某些其他具體實施例內，在成功時序恢復獲取之後，獲得該等化器的該標稱 COF，其中該等化器 SNR 高於一可程式臨界，或該等化器噪訊低於一可程式臨界。透過例如一平方限幅器誤差的平均，可獲得該等化器噪訊。

【0065】 在一獲取狀態下，該時序恢復迴圈運行一可程式的符號數量。該可程式數量儲存在一暫存器內，並用來定義該獲取處理的持續時間。該等化器信號的該均方誤差或該 SNR、該已等化信號的該均方誤差以及該

等 COF 值已儲存，而該等分支加權根據已計算的 COF 偏移已停用來更新。在該獲取結束時，可選擇對應至一最佳 SNR 的一 COF 當成該 COF_{nom}。在該追蹤狀態內，根據該已計算的 COF 偏移來更新該等分支加權。

【0066】 根據 COF 補償以及等化調適是否啟用，依照本發明的一時序恢復迴圈可在許多選擇模式內操作。在每一模式中，該時序恢復迴圈可在兩種狀態之一內操作：獲取與追蹤。

【0067】 在該獲取狀態下，該時序恢復迴圈運行由一暫存器(「acquisition_duration」暫存器)所設定的一可程式之符號數量。在該獲取狀態末端上，該已等化信號的該均方誤差以及 COF 值都已儲存(停止更新)。另外，該獲取狀態不受該 acquisition_duration 暫存器控制，而是受該韌體控制。在該追蹤狀態下，該時序恢復處理持續運行。

【0068】 在某些具體實施例內，在初始搜尋階段內可獲得最佳分支加權及/或 COF_{nom}，並用來當成後續等化處理的初始值，如參閱第五圖至第七圖的更詳細說明。參閱第五圖至第七圖所述的處理可由第一圖內時序恢復迴圈 100 使用不同組態來執行。

【0069】 第五圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適已啟用並且 COF 修正已停用的一示範等化處理 500 之偽碼流程圖。在此模式中，該等化器濾波器分支加權在該獲取狀態內以預備值初始化，並根據該初始搜尋處理(502-507)內的結果噪訊評估來反覆調整。該等調適步驟設定為小值，來降低或消除該等化器與該總時序恢復迴圈之間時脈延遲修正內之互動。例如：用於 RefTap 之前與之後兩主要分支的該調適步階設定成非常小值或甚至是零。

【0070】 尤其是，在 501 上，一噪訊臨界(Best_Noise)設定為「最大」。在 502 上，使用一組準備值，將該等化器濾波器的該等分支加權(EQ 加權)初始化。在 503 上，設置該獲取狀態，如此該等化器動態調適成通道特性，但即使該 COF 不等於 COF_{nom}，該等分支加權還是不調整。在 504 上，將該等化器誤差平均並儲存為「噪訊」。在 505 上，決定噪訊是否小於 Best_Noise。若是，則在 506 上將該等分支加權儲存為「最佳 EQ 加權」。在 507 上檢查反覆次數是否已經用完。若否，則重複上述 502-507，來獲得

一組造成滿意的等化器噪訊位準之加權。

【0071】 若反覆次數已經用完，則在 508 上將該等分支加權指定為「最佳 EQ 加權」。在後續等化處理中，獲取狀態 509 和追蹤狀態 510，調適該等化器濾波器的該等分支加權。然而，即使 COF 不等於 COF_nom，並不會根據 COF 調整該等加權。

【0072】 第六圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適以及 COF 修正都已啟用的一示範等化處理 600 之偽碼流程圖。例如：RefTap 之前與之後的該兩主要分支都透過該獲取與追蹤狀態來調整。不斷修改該 COF，並且該 COF 修正嘗試修正該 COF 來使其靠近 COF_nom。

【0073】 在該獲取狀態下，將該等化器濾波器的該等分支加權和 COF_nom 初始化。在套用等化器調適時，已修正該兩主要分支的加權，如此維持該 COF 接近 COF_nom。在獲取之後，若該 SNR 低於一可程式臨界，該等化器的另一組分支加權以及 COF_nom 都已初始化，並且直到該 SNR 高出一特定臨界之後重新啟動該時序恢復迴圈。一替代方式為選擇該等化器的初始分支加權的最佳組合以及達到許多選拔之間最大 SNR 的 COF_nom。

【0074】 尤其是，在 601 上，一噪訊臨界(Best_Noise)設定為「最大」。在 602 上，使用一組準備值，將該等分支加權和 COF_nom 初始化。在 603 上，設置該獲取狀態，如此該等化器動態調適成該通道特性，並不斷調整來補償該 COF 偏移。

【0075】 在 604 上，將該等化器誤差平均並儲存為「噪訊」。在 605 上，決定噪訊是否小於 Best_Noise。若是，將該等化器濾波器的該等即時分支加權儲存為「最佳 EQ 加權」，並在 606 上將該即時 COF_nom 指派為「最佳 COF_nom」。在 607 上檢查反覆次數是否已經用完。若否，則重複上述 602-607，來獲得一組造成滿意的等化器噪訊位準之加權。

【0076】 若反覆次數已經用完，則在 608 上將該 EQ 加權以及該 COF_nom 分別指定為最佳 EQ 加權以及最佳 COF_nom。在後續等化處理中，獲取狀態 609 和追蹤狀態 610，將該等化器濾波器的該等分支加權調適為目前通道特性。另外，根據該 COF 偏移來調整該等加權。

【0077】 第七圖根據本發明的具體實施例，為用於其中等化調適以及 COF 修正都已啟用的一示範等化處理 700 之偽碼流程圖。在此模式內，在獲取狀態期間都不會修正該 COF。若獲取之後獲得的該 SNR 高於一特定臨界，則獲取之後的該已獲得 COF 設定為 COF_nom。然後在追蹤期間，已修正 RefTap 之前與之後的該兩主要分支，如此該 COF 與該設定的最佳 COF_nom 一樣。

【0078】 尤其是，在 701 上，一噪訊臨界(Best_Noise)設定為「最大」。在 702 上，使用一組準備值，將該等化器濾波器的該等分支加權和 COF_nom 初始化。在 703 上，設置該獲取狀態，如此該等化器調適成該通道特性，但該等 EQ 加權並不根據該 COF 偏移來調整。

【0079】 在 704 上，將該等化器誤差平均並儲存為「噪訊」，並且計算出該 COF。在 705 上，決定噪訊是否小於 Best_Noise。若是，將該等即時 EQ 加權儲存為「最佳 EQ 加權」，並在 706 上將該即時 COF 指派為「最佳 COF_nom」。在 707 上檢查反覆次數是否已經用完。若否，則重複上述 702-707，來獲得一組造成滿意的等化器噪訊位準之加權和 COF。

【0080】 若反覆次數已經用完，則在 708 上將該等 EQ 加權指定為「最佳 EQ 加權」。另外，將該 COF_nom 指派為最佳 COF_nom。在後續調適處理中，獲取狀態 709 和追蹤狀態 710，將該等化器的該等分支加權調適成目前通道特性，並且若該 COF 不等於 COF_nom，則根據 COF 偏移來調適該等加權。

【0081】 雖然本文已經公開了某些較佳具體實施例和方法，但是精通技術人士從上述公開內容將了解，可在不背離本發明精神和領域的情況下對這些具體實施例和方法進行變化和修改。因此意圖為讓本發明僅受限於所附申請專利範圍所要求的範圍以及所適用法律規則和原則。

【符號說明】

【0082】

100	等化器型時序恢復迴圈	103	等化信號 x_k
101	類比信號 R_x	104	已評估的符號 a_k
102	數位信號 d_k	105	錯誤信號 e_k

106	已恢復時脈信號	232	內插/外插
107	選擇器輸出 e'_k	233	COF_Nom 決策邏輯
110	類比數位轉換器	252	內插/外插邏輯
111	等化器	310	圖式
112	限幅器	320	圖式
113	選擇器	330	圖式
114	相位偵測器	401	分支加權
115	迴圈濾波器	402	已調整加權
116	電壓控制震盪器	403	誤差
120	控制邏輯	410	等化器濾波器
130	補償邏輯	430	COF 補償邏輯
201	分支加權	431	COF 決策邏輯
202	已調整的分支加權	432	內插/外插邏輯
210	調適等化器	433	暫存器
220	控制邏輯	434	乘法器
221	SNR 偵測模組	435	加總器
222	模式選擇模組	500	示範等化處理
230	補償邏輯	600	示範等化處理
231	COF 偏移決策邏輯	700	示範等化處理

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

【序列表】(請換頁單獨記載)

公告本

發明摘要

I645676

※ 申請案號：106137215

※ 申請日：106/10/27

※IPC 分類：H03L 7/085 (2006.01)
H03H 9/66 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

減緩調適等化與時序恢復之間的互動/ MITIGATING INTERACTION BETWEEN ADAPTIVE EQUALIZATION AND TIMING RECOVERY

【中文】

本發明揭示一種時序恢復系統及方法，用來通過一調適等化器恢復具有降低時脈相位修正干擾的一時脈信號。該時序恢復回圈內的該等化器動態調適成隨時間改變的該當前通道特性。該等化器包括補償邏輯，其可操作可偵測並補償屬於該等化調適的時脈相位修正。該補償邏輯可計算一濾波器中心(COF, center of filter)值與一 COF 標稱值之間的偏移，該偏移指出該等化器所造成時脈相位修正的數量與方向。根據該偏移，該補償邏輯通過調整該等化器的該等分支加權來修正該偏移，來調整該已等化信號，藉此補償該時脈相位修正。

【英文】

System and method of timing recovery for recovering a clock signal with reduced interference with clock phase correction by an adaptive equalizer. The equalizer in the timing recovery loop is dynamically adapted to the current channel characteristics that vary over time. The equalizer includes compensation logic operable to detect and compensate a correction of clock phase ascribed to the equalization adaptation. The compensation logic can calculate the offset between a center of filter (COF) value and a COF nominal value, the offset indicative of the amount and direction of clock phase correction contributed by the equalizer. Based on the offset, the compensation logic adjusts the equalized signal by adjusting the tap weights of the equalizer to correct the offset, thereby compensating the clock phase correction.

申請專利範圍

1. 一種用於透過串聯所發送信號的時序恢復之方法，該方法包括：
 - 根據一組等化器參數，產生一等化的信號來回應一數位輸入信號；
 - 偵測關聯於該數位輸入信號的時脈延遲內之一修正，該修正由該產生的該已等化信號所導致；以及
 - 根據該偵測來調整該組等化器參數，來補償時脈延遲內的該修正。
2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該產生的該已等化信號包括將一等化濾波器套用到該數位輸入信號上；該等化濾波器包括複數個分支；並且該調整該組等化器參數包括調整該等化濾波器的分支加權。
3. 如申請專利範圍第 2 項之方法，其中該偵測包括：
 - 決定該等化濾波器的一濾波器中心(COF)，其中該 COF 為該等化濾波器的一第一組選取的分支加權之函數；以及
 - 決定具有一標稱 COF 的該 COF 間之一偏移，該偏移指出時脈延遲內的該修正。
4. 如申請專利範圍第 3 項之方法，其中該 COF 等於下列之一者：該等化濾波器的兩選取分支之間一分支加權差異；以及該等化濾波器的一選取分支之一分支加權。
5. 如申請專利範圍第 3 項之方法，其中該調整該等分支加權包括根據該偏移，以及進一步根據內插/外插該等化濾波器內一第三組選取分支的分支加權，來更新該等化濾波器內一第二組選取分支的分支加權。
6. 如申請專利範圍第 3 項之方法，進一步包括由以下決定該標稱 COF：
 - 評估複數個候選值；
 - 分別根據該等複數個候選值，來調整該等化濾波器的分支加權；
 - 監控該已等化信號的訊噪比(SNR)，該 SNR 與分別根據該等複數個候選值的該調整該等分支加權相關聯；以及
 - 從該等複數個候選值選擇該標稱 COF，其中該標稱 COF 導致該已等化信號的一最佳 SNR。
7. 如申請專利範圍第 5 項之方法，其中該第二組選取的分支包括一參考分支、該參考分支之前的一分支以及該參考分支之後的一分支之一或

多者，並且其中該第三組選取的分支包括該參考分支、該參考分支之前的兩分支以及該參考分支之後的兩分支。

8. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該調整該等分支加權包括交替更新該等化濾波器的兩選取分支加權。
9. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中通過將該等化濾波器內分支動態調適成該數位輸入信號的通道特性，來導致時脈延遲內的該修正，並且進一步包括根據該等化信號產生一已恢復的時脈信號。
10. 一種用於信號處理的裝置，該裝置包括：
 - 一 Equalizer，其設置成產生一已等化信號來回應一數位輸入信號，其中該 Equalizer 包括一 Equalizer 濾波器；以及
 - 補償邏輯，其耦合至該 Equalizer 並設置成：
 - 偵測關聯於該數位輸入信號的時脈延遲內之一修正，其中該修正由該 Equalizer 所導致；以及
 - 根據時脈延遲內的該修正來調整該 Equalizer 濾波器，以補償該修正。
11. 如申請專利範圍第 10 項之裝置，其中該補償邏輯設置成調整該 Equalizer 濾波器的分支加權，來回應時脈延遲內該修正的偵測。
12. 如申請專利範圍第 11 項之裝置，其中該補償邏輯包括：
 - 濾波器中心(COF)邏輯，其設置成決定該 Equalizer 濾波器的兩選取分支加權間之一當前差異；
 - 一儲存單元，其設置成儲存該兩選取分支加權之間一標稱差異；以及
 - 一加總器，其設置成產生該標稱差異與該當前差異之間一偏移信號，該偏移代表時脈延遲內的該修正。
13. 如申請專利範圍第 12 項之裝置，其中該補償邏輯進一步包括內插/外插邏輯，其設置成根據該偏移並進一步根據該 Equalizer 濾波器的一第二組選取分支加權，來更新該 Equalizer 濾波器的一第一組選取分支加權。
14. 如申請專利範圍第 11 項之裝置，其中該補償邏輯進一步設置成：
 - 決定是否更新該第一組選取分支加權，導致該 Equalizer 濾波器的參考分

支位置改變；以及

復原該第一組選取分支的先前分支加權，來回應該變更的一決定。

15. 如申請專利範圍第 11 項之裝置，其中該補償邏輯包括：

一濾波器中心(COF)邏輯，其設置成決定一已識別分支的一當前分支加權；

一儲存單元，其設置成儲存該已識別分支的一標稱分支加權；以及

一加總器，其設置成產生該標稱分支加權與該當前分支加權之間一

COF 偏移，該 COF 偏移指示時脈延遲內的該修正。

16. 如申請專利範圍第 11 項之裝置，其中該補償邏輯設置成交替調整該等化濾波器的複數個分支加權。

17. 一種接收器，包括：

一類比數位轉換器(ADC)，其設置成產生回應一已接收信號的一數位輸入信號；

一時序恢復迴圈，其耦合至該 ADC 並包括：

一 Equalizer，其設置成產生回應該數位輸入信號並通過一調適等化處理的一已等化信號，其中該 Equalizer 包括一 Equalizer 濾波器，並且其中該調適等化處理導致關聯於該數位輸入信號的時脈延遲之修正；

補償邏輯，其耦合至該 Equalizer 並設置成利用更新該已等化濾波器來補償該修正；以及

一相位偵測器，其耦合至該 Equalizer。

18. 如申請專利範圍第 17 項之接收器，其中該補償邏輯包括：

濾波器中心(COF)邏輯，其設置成根據該等化濾波器的一或多個分支加權來決定一當前 COF；

一儲存單元，其設置成儲存一標稱 COF；

一加總器，其設置成產生該當前 COF 與該標稱 COF 的偏移；以及

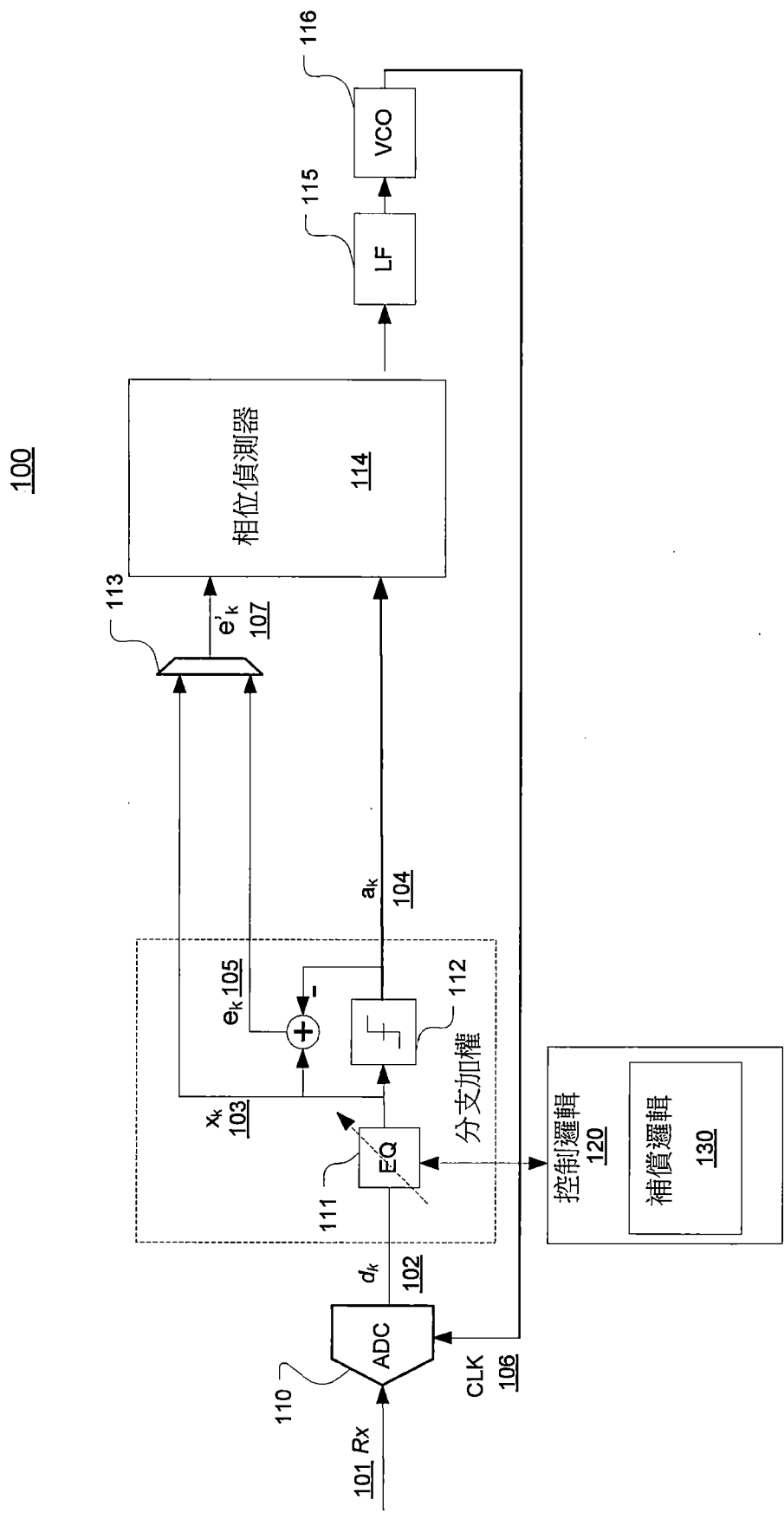
計算邏輯，其設置成根據該偏移決定該等化濾波器內一第一組選取分支的分支加權。

19. 如申請專利範圍第 18 項之接收器，其中該當前 COF 等於下列之一者：

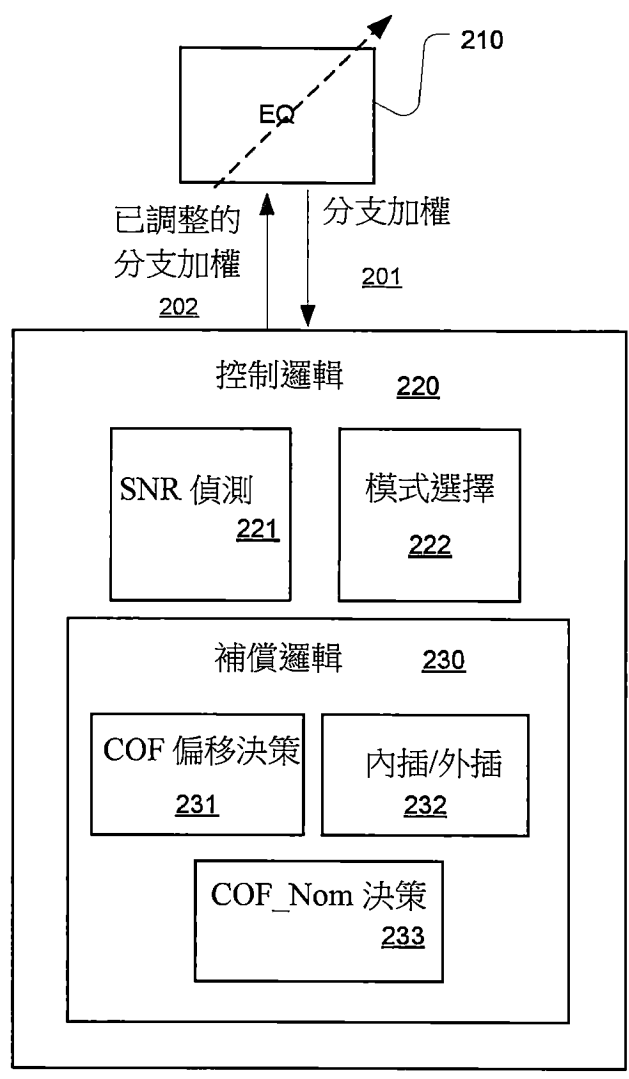
該等化濾波器的兩選取分支加權之間一差異；以及該等化濾波器的一選取分支之一當前分支加權。

20. 如申請專利範圍第 19 項之接收器，其中該時序恢復迴圈進一步包括模式選擇邏輯，其設置成：啟用或停用該 COF 補償邏輯；以及啟用或停用該等化器內的等化調適。

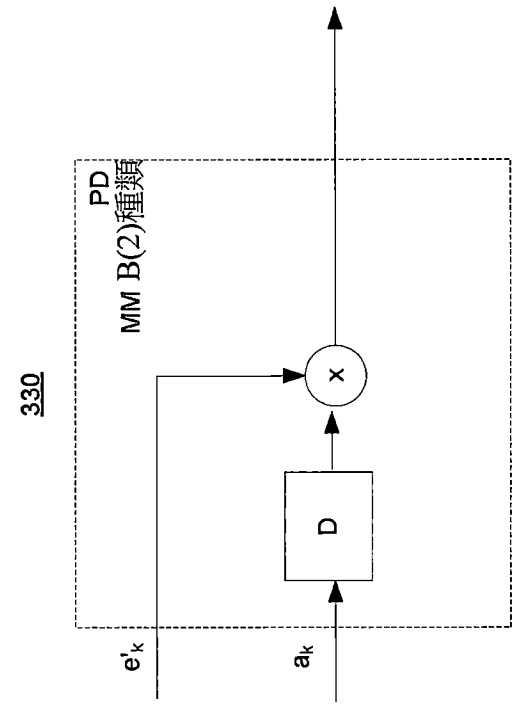
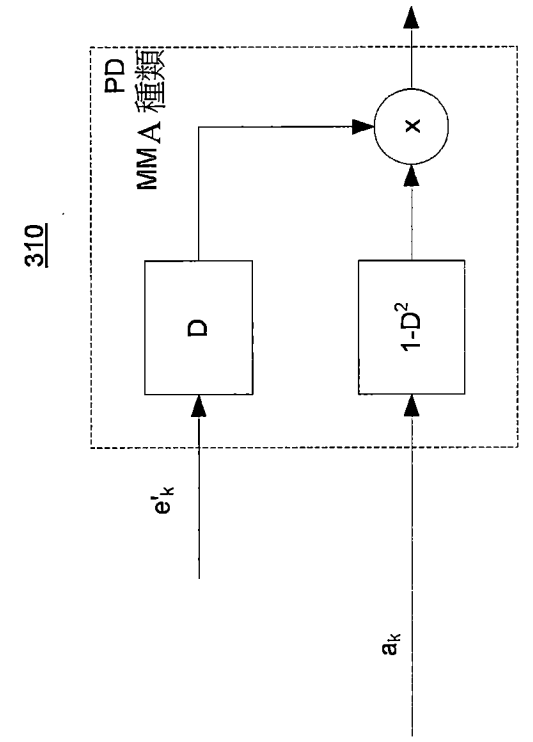
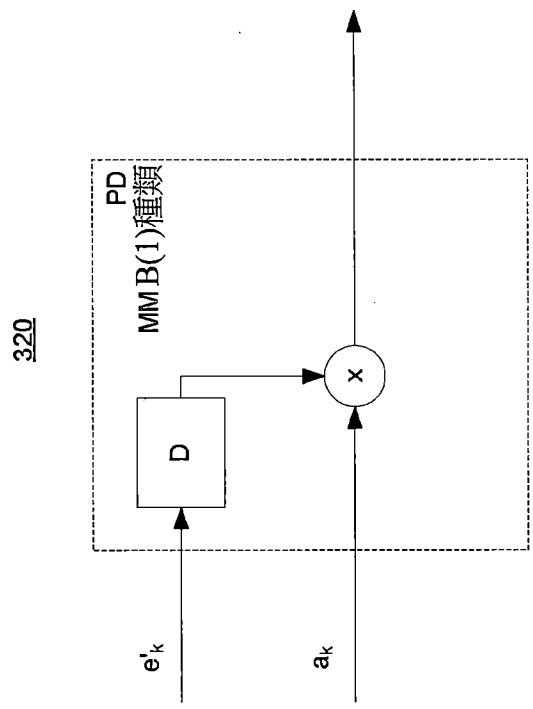
圖式



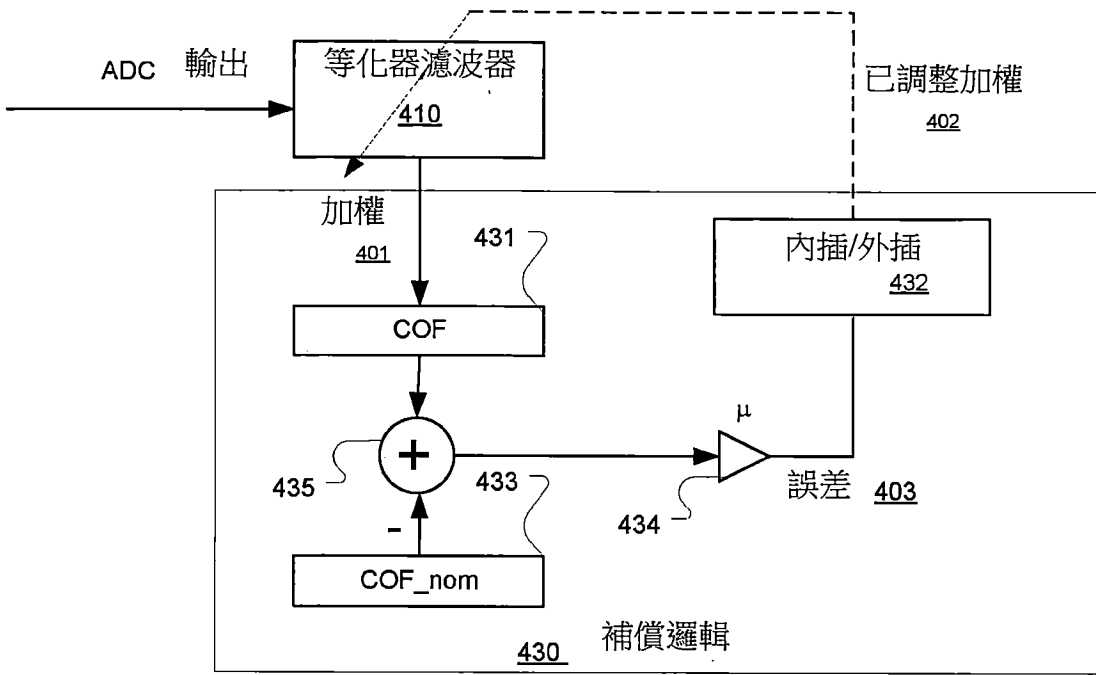
第一圖



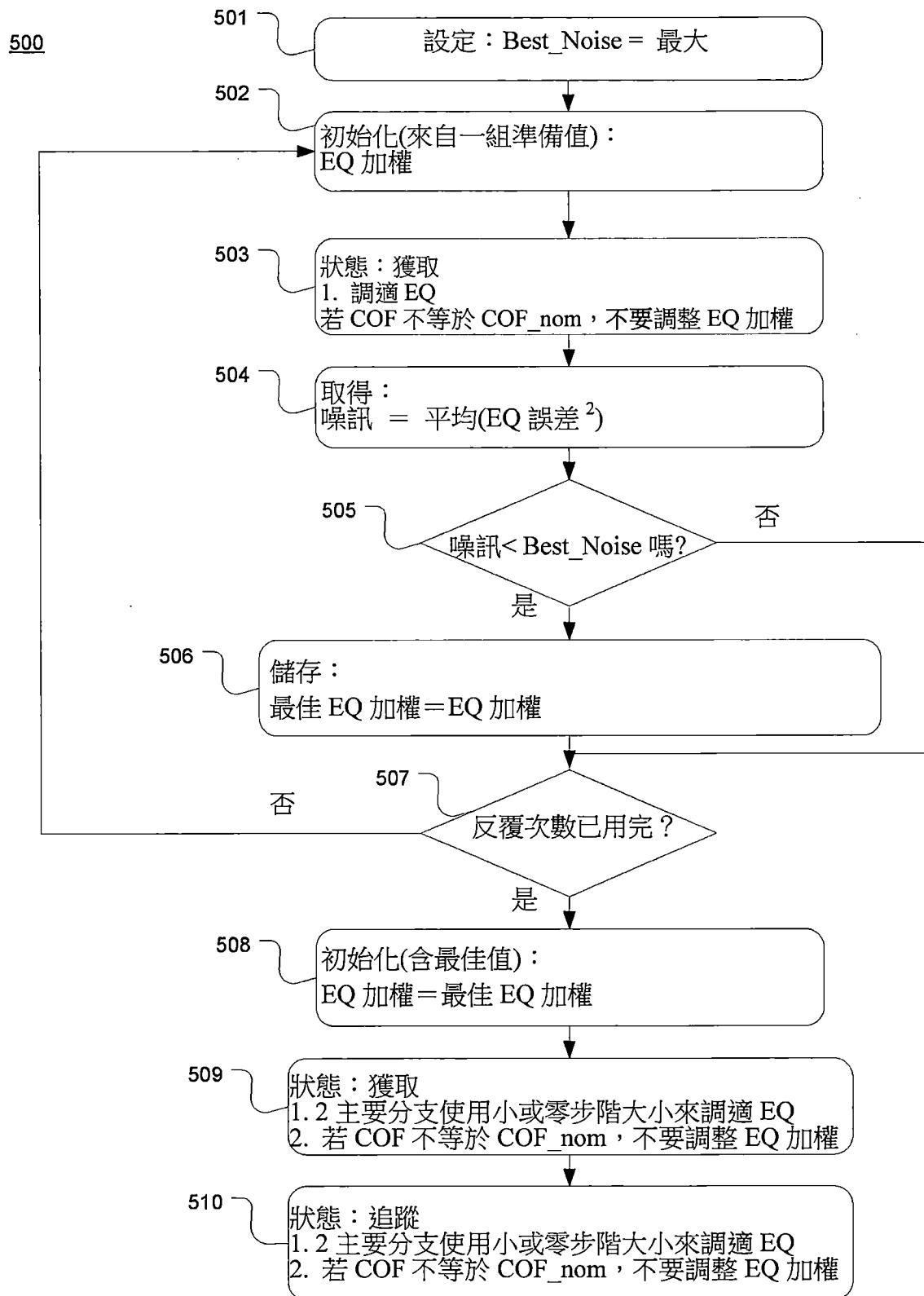
第二圖



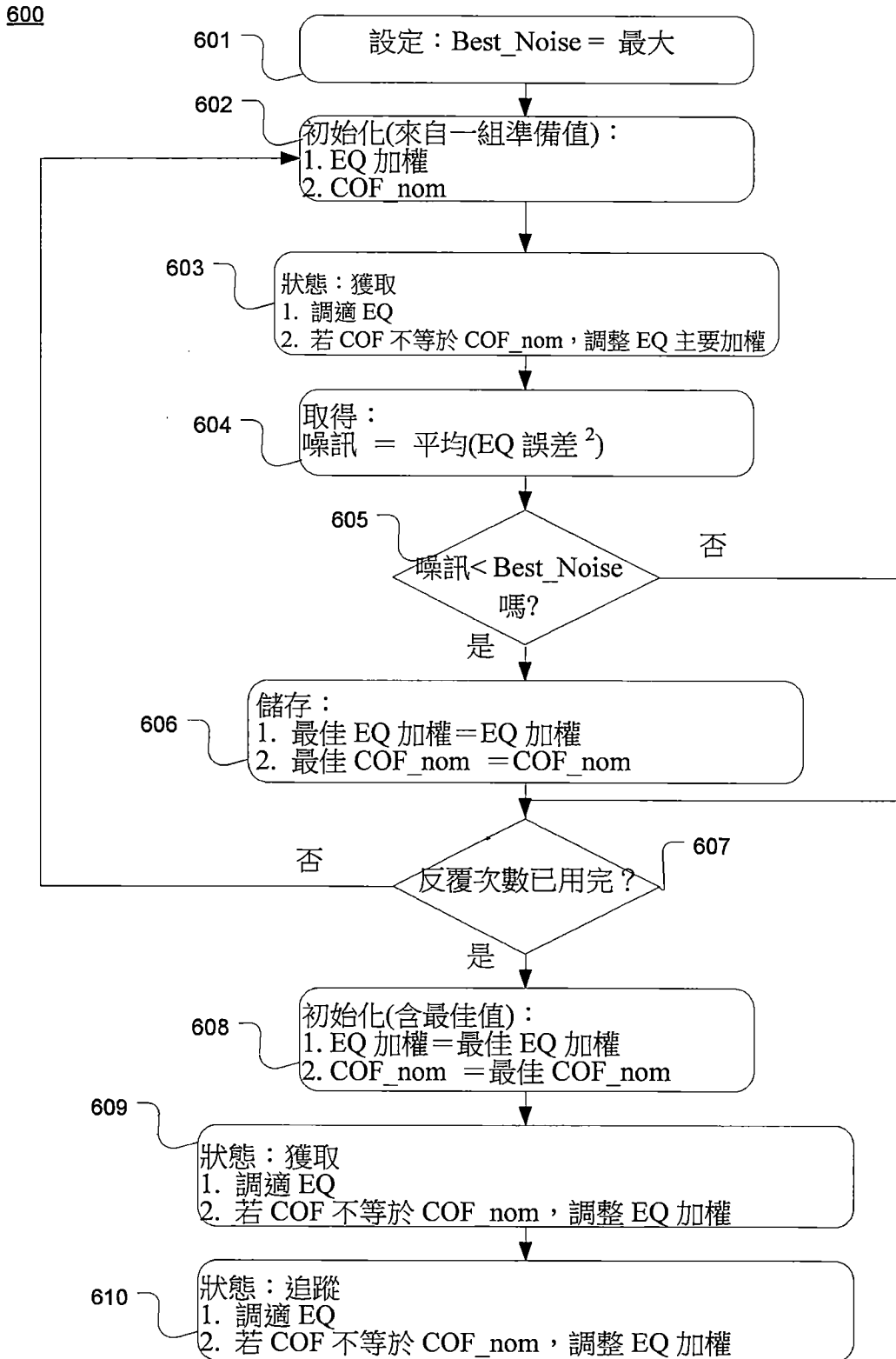
第三圖



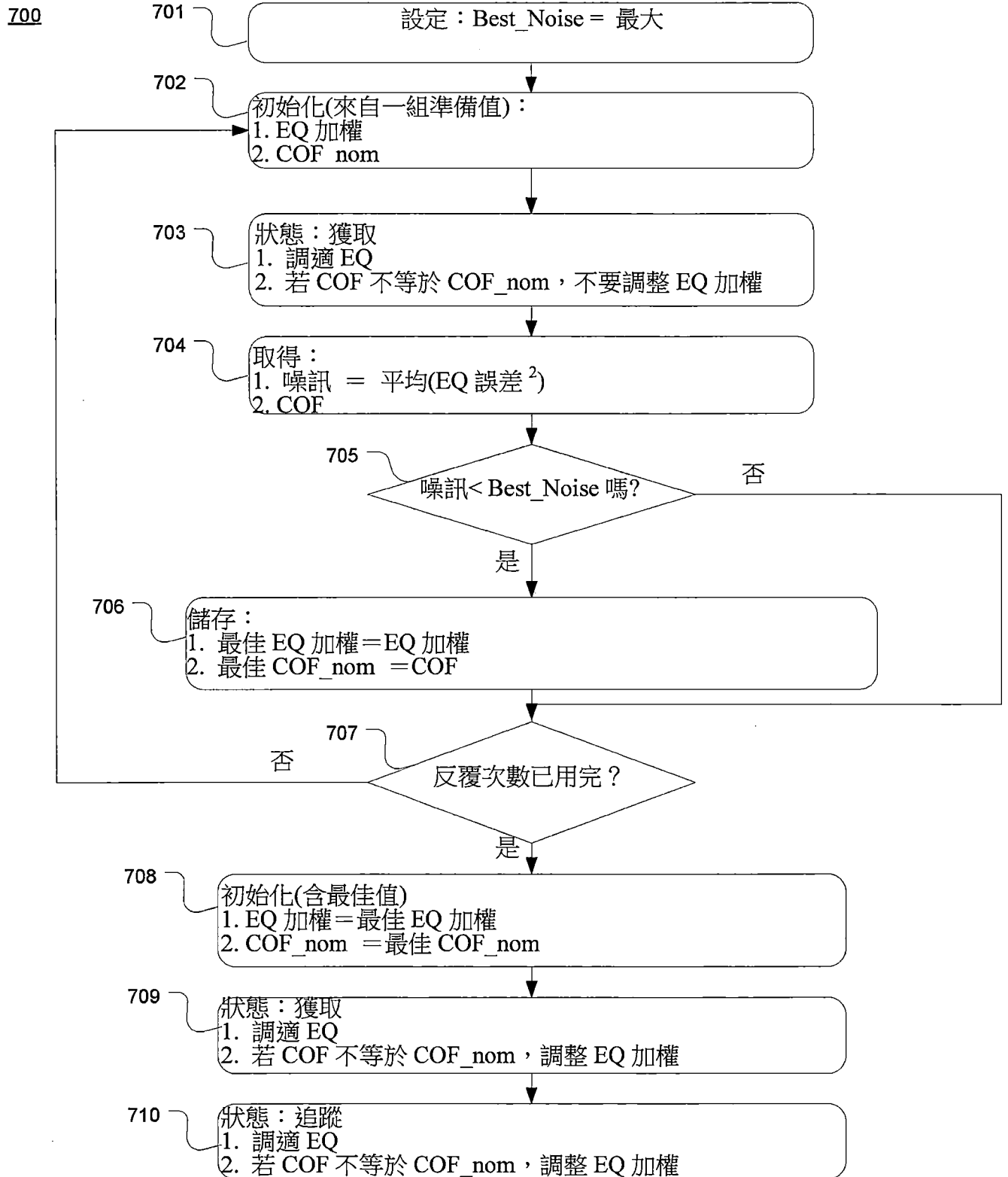
第四圖



第五圖



第六圖



第七圖

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（一）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100	等化器型時序恢復迴圈	111	等化器
101	類比信號 R_x	112	限幅器
102	數位信號 d_k	113	選擇器
103	等化信號 x_k	114	相位偵測器
104	已評估的符號 a_k	115	迴圈濾波器
105	錯誤信號 e_k	116	電壓控制震盪器
106	已恢復時脈信號	120	控制邏輯
107	選擇器輸出 e'_k	130	補償邏輯
110	類比數位轉換器		

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：