



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I463823 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：100125175 (22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 07 月 15 日

(51)Int. Cl. : H04B7/04 (2006.01) H04L1/00 (2006.01)

(30)優先權：2011/05/24 美國 13/115,093

(71)申請人：財團法人工業技術研究院(中華民國) INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE (TW)

新竹縣竹東鎮中興路 4 段 195 號

國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：陳彥志 CHEN, YEN CHIH (TW)；鄭乾君 CHENG, CHIEN CHUN (TW)；蘇育德 SU, YU TED (TW)

(74)代理人：洪堯順

(56)參考文獻：

US 6219561B1

US 2010/0087151A1

WO 9700543A1

Espandar, M. ; Bakhshi, H.R., AOA and AOD Estimation for Rectangular Antenna Array in Non-selective and Slow Fading in MIMO Channels, Future Computer and Communication, 2009. ICFCC 2009

審查人員：林東威

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：12 共 49 頁

(54)名稱

相關性衰落通道的模型基礎通道估計器和通道估計方法

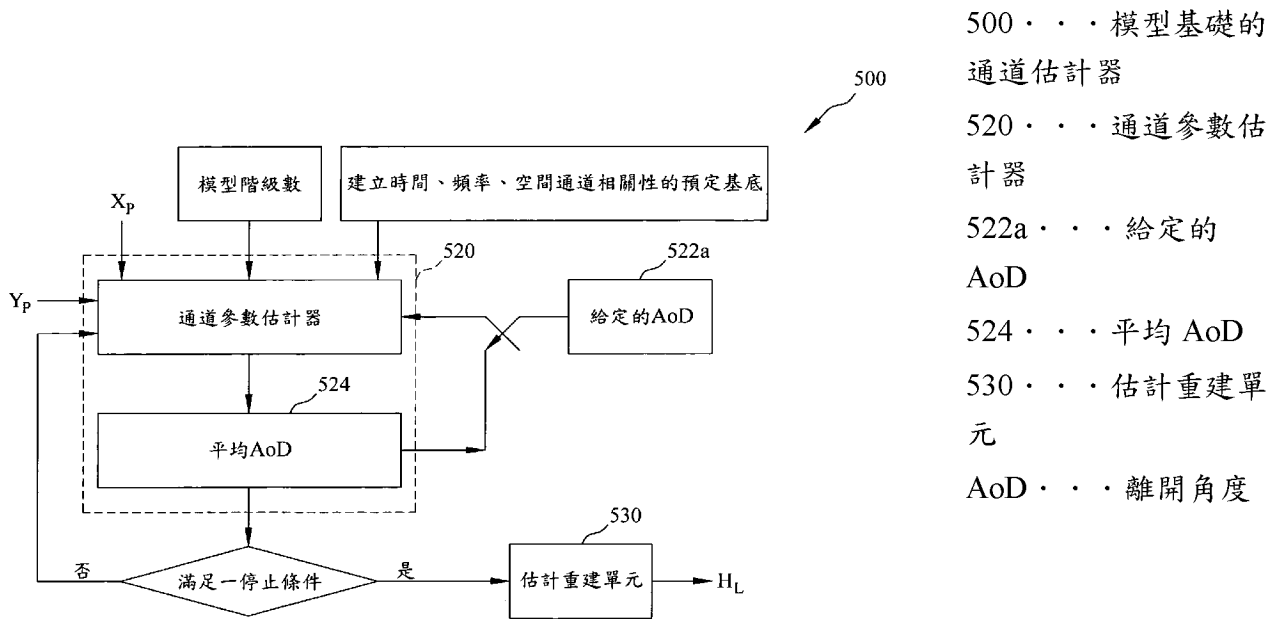
MODEL-BASED CHANNEL ESTIMATOR FOR CORRELATED FADING CHANNELS AND CHANNEL ESTIMATION METHOD THEREOF

(57)摘要

一種適合多輸入多輸出系統之相關性衰落通道的模型基礎通道估計器，根據多個接收信號、多個發送領航器、多個已知的模型階級數、以及多個預定基底，來對一給定的離開角度估計一通道矩陣的一係數向量，此多個預定基底用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一接收天線陣列間的空間通道相關性。然後根據估計的通道矩陣來估計一平均離開角度(AoD)。此通道估計器重複地估計此係數向量和此平均 AoD，直到滿足一停止條件。然後利用此多個預定基底、此係數向量、以及此平均 AoD，來重建一通道估計。

A model-based channel estimator for correlated fading channels adapted to a multiple-input multiple-output (MIMO) system, estimates a coefficient vector of a channel matrix for a given angle of departure (AoD) according to a plurality of received signals, a plurality of transmit pilots, a plurality of known model orders, and a plurality of predetermined bases for exploiting time, frequency, spatial channel correlation among a transmit antenna array, and spatial channel correlation among a receive antenna array, then estimates a mean AoD based on the estimated channel matrix. The channel estimator estimates iteratively the

coefficient vector and the mean AoD until a stop criterion is met. Then, it reconstructs a channel estimate by using the plurality of predetermined bases, the coefficient vector, and the mean AoD.



第五圖

## 發明專利說明書

(本說明書格式、階層，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 100 12 5 175

※ 申請日： 100. 7. 15

※IPC 分類： H04B 7/04 (2006.01)  
H04L 1/00 (2006.01)

### 一、發明名稱：(中文/英文)

相關性衰落通道的模型基礎通道估計器和通道估計方法/

MODEL-BASED CHANNEL ESTIMATOR FOR  
CORRELATED FADING CHANNELS AND CHANNEL  
ESTIMATION METHOD THEREOF

### 二、中文發明摘要：

一種適合多輸入多輸出系統之相關性衰落通道的模型基礎通道估計器，根據多個接收信號、多個發送領航器、多個已知的模型階級數、以及多個預定基底，來對一給定的離開角度估計一通道矩陣的一係數向量，此多個預定基底用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一接收天線陣列間的空间通道相關性。然後根據估計的通道矩陣來估計一平均離開角度(AoD)。此通道估計器重複地估計此係數向量和此平均AoD，直到滿足一停止條件。然後利用此多個預定基底、此係數向量、以及此平均AoD，來重建一通道估計。

### 三、英文發明摘要：

A model-based channel estimator for correlated fading channels adapted to a multiple-input multiple-output (MIMO) system, estimates a coefficient vector of a channel matrix for a given angle of departure

(AoD) according to a plurality of received signals, a plurality of transmit pilots, a plurality of known model orders, and a plurality of predetermined bases for exploiting time, frequency, spatial channel correlation among a transmit antenna array, and spatial channel correlation among a receive antenna array, then estimates a mean AoD based on the estimated channel matrix. The channel estimator estimates iteratively the coefficient vector and the mean AoD until a stop criterion is met. Then, it reconstructs a channel estimate by using the plurality of predetermined bases, the coefficient vector, and the mean AoD.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(五)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

500 模型基礎的通道估計器      520 通道參數估計器

522a 給定的 AoD                      524 平均 AoD

530 估計重建單元                      AoD 離開角度

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本揭露係關於一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器和通道估計方法。

### 【先前技術】

對更高的無線系統容量的需求不斷增加已經催化出多種突破性的傳輸技術。在無線通信系統中，近期的發展已經採用正交頻分多工(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)技術。在 OFDM 技術中，利用精確的頻率差異來間隔副載波頻率，而且允許重疊以有效地利用頻譜。並且，通道等化(channel equalization)變得比使用自適性等化(adaptive equalization)技術與單載波的系統更為簡單。在 OFDM 系統中，藉由使用多輸入多輸出(multiple-input multiple-output, MIMO)的技術，可以增加數據的容量。MIMO 技術在近期吸引了很大部分的關注。第一圖是一種典型的 MIMO 系統的一範例示意圖，此典型的 MIMO 系統在第  $k$  個副載波具有  $M$  個發送天線和  $N$  個接收天線。如第一圖的範例所示，發送端和接收端皆有多個天線。數據  $X$  是透過  $M \times N$  條無線通道  $H$  發送，然後觀測到的數據  $Y$  是經由接收器的多個天線來接收。

同時在發送端和接收端使用多元素天線(multi-element antennas, MEA)已經被證明可以實現明顯

的容量收益 (capacity gain)。空間多工 (spatial multiplexing) 技術，例如貝爾實驗室分層空時 (Bell-lab Layered Space-Time, BLAST) 系統，在豐富的散射 (rich-scattering) 環境中可達到非常高的頻譜效率。理想的豐富散射環境可以針對不同對的發送和接收天線解除通道相關性。

然而當實際設計一個 MIMO 接收器以評價相對應的系統性能時，空間相關性 (spatial correlation) 確實存在，並且需要被重視。空間相關性取決於物理參數，如天線的間距 (spacing)、天線的安排 (arrangement)、以及散射分佈 (scattering distribution)。天線相關性減少了相當於正交副通道 (sub-channel) 的數量，降低了頻譜效率，使之更難以偵測出發送的數據。一個同步的 MIMO 接收器需要一個準確的通道估計來進行關鍵性的運作 (critical operation)，以及提供令人滿意的性能。不僅可靠的通道估計是強制性的以保證信號接收品質，但也需要在發送端設計合適的預編碼器 (precoder)，於反饋式 (feedback) 的 MIMO 系統中達成最大的吞吐量 (throughput) 或最小誤碼率 (bit error rate)。

各種領航輔助 (pilot-assisted) MIMO 通道估計器已被揭露。例如，一個建立 MIMO 通道的稀疏結構 (sparsity structure) 的方法。在 MIMO OFDM 系統中，可以採取一通道估計程序或一領航器安置 (placement) 和領航器

分配 (allocation) 程序，來做 MIMO 符號間干擾 (inter-symbol interference, ISI) 通道的稀疏通道估計。經由該方案，一通道估計器的前端或後端可使用通道估計的輸出。在此方法中，針對發送端的預編碼器 (precoder) 或接收端的碼書選擇器 (codebook selector) 並沒有固定的基底。

另一份文件揭露了 MIMO 系統通道參數的估計。參考第二圖，由通道參數估計器來執行的一實施範例包括了使用一最小平方 (least square, LS) 的方法且/或迫零 (zero forcing) 的方法來計算粗糙的 (coarse) 通道估計 (步驟 202)、執行一頻域插補 (frequency domain interpolation) 程序 (步驟 204) 到不被激發的 (not excited) 副載波、以及減少平方誤差 (步驟 206)。除了通道參數的估計，參數估計器可以進一步計算“噪音方差” (noise variance) 的估計，這是一個代表存在於信號中無關係和無用的噪音功率的參數。估計噪音方差的一實施範例包括從粗糙和細緻的 (final) 通道估計中算出一噪音項目 (步驟 212)，此噪音項目與每一音調 (tone) 的信號傳輸矩陣 (signal transmission matrix) 相乘 (步驟 214)，以及轉換頻域係數到時域 (步驟 216)，並對各個接收天線計算噪音方差估計 (noise variance estimate) (步驟 218)。針對發送端的預編碼器或接收端的碼書選擇器也沒有固定的基底。而只有一個頻率基底是用於通道估計器。



另一份文件揭露一種通信系統的降階層(reduced rank)通道估計的技術。參考第三圖，此技術利用系統內多餘的且/或一先前知識，來簡化估計計算，包括估計通道的嚴重延遲(步驟 310)、產生全維(full dimension)通道估計(步驟 312)、以及計算通道的一協方差(covariance)矩陣(步驟 314)。再進一步分析協方差矩陣，以確定是否可以降低通道估計的通道參數。如果沒有，使用系統的全階層(full rank)來模擬通道(步驟 320)，否則使用一降階層矩陣來計算，包括估計通道子空間(步驟 322)、以及估計降階層通道參數(步驟 324)，並且轉換通道參數回到全維(步驟 326)。針對發送端的預編碼器或接收端的碼書選擇器也沒有固定的基底。而只有一個空間基底是用於即時的(real time)通道估計。

在傳統的設計中，當準確的通道狀態資訊(channel state information, CSI)是可使用時(往往是經由反饋)，閉環(closed-loop)MIMO 系統可提供高的容量和強健的性能。碼書為基礎的解決方法可用來降低 CSI 帶寬(bandwidth)需求。針對相關性 MIMO 通道很少有估計器被專門設計，而該少數估計器經由一解析模型以近似時域且/或頻域響應，來建立通道時間和頻率相關性特性。事實上，針對 MIMO 系統沒有任何可以利用空間、頻率、以及時間的相關性的方法或裝置被提出。

## 【發明內容】

本揭露實施範例可提供一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器和通道估計方法。

所揭露的一實施範例是關於一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器，此相關性衰落通道適應於具有一發送天線陣列(transmit antenna array)和一接收天線陣列(receive antenna array)的一多輸入多輸出(MIMO)系統。此模型基礎通道估計器包含一通道參數估計器(estimator of channel parameters)，以及一估計重建單元(estimate reconstruction unit)。此通道參數估計器根據多個接收信號、多個發送領航器(transmit pilot)、一衍生通道模型(derived channel model)的多個已知的模型階級數(model order)、以及多個預定基底(predetermined base)，來對一給定的離開角度(angle of departure, AoD)估計一通道矩陣的一係數向量(coefficient vector)，此多個預定基底用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一接收天線陣列間的空间通道相關性。然後根據估計的通道矩陣來估計一平均 AoD。其中，此通道估計器重複地估計此係數向量和此平均 AoD，直到滿足一停止條件。此估計重建單元利用此多個預定基底、此係數向量、以及此平均 AoD，來重建一通道估計。

所揭露的另一實施範例是關於一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計方法，此相關性衰落通道適應於具有一發送天線陣列和一接收天線陣列的一多輸入多輸

出(MIMO)系統。此模型基礎通道估計方法包含：藉由一估計算法來決定一衍生通道模型的多個模型階級數(model order)  $K_L, K_F, K_T, K_R$ ；藉由使用一疊代(iterative)方法來執行一通道矩陣的一係數向量 Coef 的一估計和執行一離開角度(AoD)的一估計，並且當滿足一條件時則停止疊代；以及藉由利用此估計的通道係數向量 Coef 和多個預定基底矩陣，記為  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{R,K_R}$ 、和  $\tilde{Q}_{T,K_T}$ ，來重建一全維通道估計  $H_L$ ；其中  $\tilde{Q}_{T,K_T}$  包含一基底矩陣  $Q_{T,K_T}$  與此 AoD，此衍生通道模型是藉由預定此多個基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$  而衍生出，此多個基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$  分別用來建立時間通道相關性、頻率通道相關性、此發送天線陣列間的空間通道相關性、以及此接收天線陣列間的空間通道相關性。

所揭露的又一實施範例是關於具有一碼書選擇器的一接收端，此接收端適應於具有一發送天線陣列和一接收天線陣列的一多輸入多輸出(MIMO)系統。此接收端包含一模型階級數估計器(model order estimator)以及一模型基礎通道估計器(model-based channel estimator)。此模型行列數估計器估計多個模型階級數。此模型基礎通道估計器根據多個接收信號、多個發送領航器、一衍生通道模型的此多個模型階級數、以及多個預定基底，來對一給定的離開角度(AoD)估計一通道矩陣的一係數向量，此多個預定基底分別用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一接

收天線陣列間的空間通道相關性。然後此模型基礎通道估計器根據估計的通道矩陣來估計一平均 AoD。其中此模型基礎通道估計器重複地估計此係數向量和此平均 AoD，直到符合一停止條件。當符合此停止條件時，此模型基礎通道估計器利用此多個預定基底、此係數向量、以及此平均 AoD，來重建一通道估計。

茲配合下列圖示、實施範例之詳細說明及申請專利範圍，將上述及本揭露之其他優點詳述於後。

### 【實施方法】

在具有 MIMO 的 OFDM 系統(以 MIMO-OFDM 系統代表)，全階層(full-rank)碼書可能大部分時間是不需要的，特別是如果考慮所有的自由度。高效率碼書設計可以經由考慮空間，時間和頻率的相關性來完成。並且，預先確定的基底可以被用來減少計算。本揭露實施範例提供了一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器。通道參數的估計包括通道係數和平均離開角度(AoD)估計，以及建立通道響應的結構，如時間、頻率和空間相關性。

在實施範例中的領航器輔助通道是以不需二階通道統計資料的一新 MIMO 通道的表述為基礎。空間和時間協方差(或相關性)的功能是以非參數回歸(non-parametric regression)來描述，並且經由一回歸模

型，平均 AoD 的影響是與其他通道參數相關。此表述容許一降階層通道模型和簡潔的通道狀態資訊(CSI)表述，可以降低反饋通道(feedback channel)的帶寬需求。這可以導致將相關的 MIMO 系統的通道相關性和平均 AoD 分開來描述。因此，可以發展有效的技術來識別實際的通道響應。換句話說，本揭露實施範例可以提供更高的 CSI 解析度，在大多數情況下提供增強的估計器效能，以及簡化後置通道估計(post-channel-estimation)的信號處理。

回顧典型的時-空(space-time)天線的安裝和一般的 MIMO 接收信號模型後，對於多條空間相關的(spatial-correlated)區塊衰減(block-faded)MIMO 通道的一新通道模型可推導如下。例如，在一具有連續式導航器(continue-type pilot)的系統模型中，考慮具有 M 個發送天線和 N 個接收天線的線性陣列( $N \leq M$ )的一個 k 副載波 MIMO-OFDM 系統。從基地站(base station, BS)發送獨立的資料串流(data stream) $X_n(k)$ 。

$$X_n(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_M(k)]^T$$

其中

$x_i(k)$  是從第 i 個發送天線發送的信號。

k 是副載波指標(sub-carrier index)。

n 是時間指標(time index)。

M 是發送天線的總數(total number)。

$[ ]^T$  代表矩陣轉置(matrix transpose)運算。

在接收端，經過移除循環字首(cyclic prefix, CP)後，利用一  $K$  點離散傅立葉變換(K-point discrete Fourier transform, DFT)，將每一資料區塊轉換到頻域，產生

$$Y_n(k)=[y_1(k), y_2(k), \dots, y_N(k)]^T$$

其中， $y_j(k)$ 是在時間  $nT$ ，於第  $k$  個副載波的第  $j$  個接收天線接收到的信號。

假設循環字首(CP)的長度大於或等於通道衝擊響應(channel impulse response)。因此，於第  $k$  個副載波的接收的信號可表示為

$$Y_n(k)=H_n(k)X_n(k)+\gamma_n(k)$$

其中

$Y_n(k)$ 是在時間  $nT$ ，於第  $k$  個副載波的  $N \times 1$  接收向量(receive vector)。

$X_n(k)$ 是在時間  $nT$ ，於第  $k$  個副載波的  $M \times 1$  發送向量(transmit vector)。

$\gamma_n(k)$ 是一零均值(zero mean)附加性高斯白噪音(additive white Gaussian noise, AWGN)的  $M \times 1$  向量。

$H_n(k)$ 是  $N \times M$  的頻域通道響應矩陣(frequency domain channel response matrix)。

將所有副載波的接收信號排列為一個矩陣，從第 0 個至第  $k-1$  個副載波所堆疊的接收向量可以表示為

$$Y_n^K=[Y_n(0), Y_n(1), \dots, Y_n(K-1)]$$

$$X_e^K = \begin{bmatrix} X_e(0) & & & 0 \\ & X_e(1) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & X_e(K-1) \end{bmatrix}$$

其中

$K$  是頻域中的一觀察窗的大小(observation window size)。

$Y_e^K$  是在時間  $nT$ ，於  $K$  個副載波的  $N \times k$  接收矩陣。

$X_e^K$  是在時間  $nT$ ，於  $K$  個副載波的  $MK \times K$  發送矩陣。

對於大小為  $L$  的一觀察窗，從時間  $nT$  至時間  $(n+L-1)T$  所接收的取樣向量(sample vector)可以表示為

$$Y_L = [Y_n^K, Y_{n-1}^K, \dots, Y_{n-L+1}^K],$$

$$H_L = [H_n^K, H_{n-1}^K, \dots, H_{n-L+1}^K],$$

$$X_L = \begin{bmatrix} X_n^K & & & 0 \\ & X_{n-1}^K & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & X_{n-L+1}^K \end{bmatrix}。$$

根據上述揭露的模型，第四圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明一 MIMO 系統在頻率、時間和空間域所需要的通道係數。其中，MIMO 系統的資源包括  $K$  個副載波和  $L$  個時段(time slot)。因此，頻域的範圍記為  $K$ ，時域的範圍記為  $L$ ，在  $M$  個發送和  $N$  個接收天線的線性陣列之空間域範圍記為  $M$  和  $N$ 。此

空間、時間和頻域通道相關性可藉由單式矩陣(unitary matrix)作正交轉換(orthogonal transform)。

$$\text{vec}(H_L) \approx [Q_{L,K_L} \otimes Q_{F,K_F} \otimes \tilde{Q}_{T,K_T} \otimes Q_{R,K_R}] C_{coef}$$

$$\tilde{Q}_{T,K_T}^T = Q_{T,K_T}^T W$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & & & 0 \\ & w_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & w_M \end{bmatrix}$$

其中

$Q_{L,K_L}$  是用來描述在時間域通道行為的一  $L \times K_L$  基底矩陣。

$Q_{F,K_F}$  是用來描述在頻率域通道行為的一  $F \times K_F$  基底矩陣。

$Q_{T,K_T}$  是用來描述一發送天線陣列間之空間通道相關性的一  $M \times K_T$  基底矩陣。

$Q_{R,K_R}$  是用來描述一接收天線陣列間之空間通道相關性的一  $N \times K_R$  基底矩陣。

$C_{coef}$  是一  $K_L K_F K_T K_R \times 1$  係數向量，包含上述基底的係數。

$\tilde{Q}_{T,K_T}$  是一  $M \times K_T$  矩陣，包含一發送基底和 AoD 資訊。

$W$  是一  $M \times M$  對角矩陣(diagonal matrix)，包含 AoD 資訊。

$w_i$  是一  $1 \times 1$  單位模數元素(unit modulus entry)，代表 AoD 資訊。

$\otimes$  是一 Kronecker 乘積運算(product operation)。

$\text{vec}(\ )$  是向量化運算(vectorization operation)。



$K_L, K_F, K_D, K_R$  是已知的模型階級數，而矩陣  $\tilde{Q}_{T,K_T}$  被分解成一新的單式矩陣  $Q_{T,K_T}$  和具有單位模數元素的一對角矩陣  $W$ 。在本揭露實施範例中，以具有階層  $K_L (\leq L)$ 、 $K_T (\leq M)$ 、 $K_R (\leq N)$  的基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{T,K_T}$ 、和  $Q_{R,K_R}$  來取代單式矩陣  $Q_L$ 、 $Q_T$ 、和  $Q_R$ ，以便為通道估計找到更簡潔的通道係數。換句話說，在本揭露實施範例中推導出一降階層通道模型以便為通道估計找到更簡潔的通道係數。

換句話說，無線通道可藉由指导向量 (steering vector) 以上面的公式模形化。有了已知的適當的模型階級數，在本揭露實施範例中，可由  $W_{FL}^{optimum}$  和  $C_{coef}^{optimum}$  來表達相對應的最佳通道估計 (用最小平方法)，並從中推導出獲得通道估計的一疊代法，其中假設當用最小平方法分別估計 AoD 資訊和方向資訊時，最佳方向矩陣 (directional matrix)  $W_{FL}^{optimum}$  和最佳係數向量  $C_{coef}^{optimum}$  是可以使用的。第五圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器。參考第五圖的範例，模型基礎通道估計器 500 可包含一通道參數估計器 520 和一估計重建單元 530。

為了推導出一 MIMO 通道，以建立時間，頻率和空間通道相關性的基底是預先決定的。例如，一基底矩陣  $Q_{L,K_L}$  用來描述時域通道的行為，一基底矩陣  $Q_{F,K_F}$  用來描

述頻域通道的行為，一基底矩陣  $Q_{T,K_T}$  用來描述發送空間相關性，一基底矩陣  $Q_{R,K_R}$  用來描述接收空間相關性。經由接收信號  $Y_p$ 、發送領航器  $X_p$ 、已知的模型階級數  $K_L, K_F, K_T, K_R$ 、以及預定基底  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$ ，通道參數估計器 520 先對一給定的 AoD 522a，估計出通道矩陣的通道係數 522。然後根據估計的通道矩陣，估計一平均 AoD 524。通道參數估計器 520 重複地估計通道係數 522 和平均 AoD 524，直到滿足一停止條件。估計重建單元 530 使用  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $\tilde{Q}_{T,K_T}$ 、 $Q_{R,K_R}$  以重建一通道估計  $H$ ，和通道係數 522 的一最終估計 (final estimate)。基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$ 、和  $Q_{R,K_R}$  可以於離線 (offline) 時計算之。

以下說明在第五圖的模型基礎通道估計器中，以一疊代法來執行通道估計的一範例。在每一疊代程序中，此疊代法可包括兩個階段，即分別為通道係數估計和 AoD 估計。當滿足一條件時，此疊代法停止重複。例如，此停止條件可以被定義為一最大重複次數 (maximum iteration number) 或一最小差異更新 (minimum difference update)。第六圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例流程圖，說明一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計方法。

參考第六圖的範例，第四狀態(步驟 640，即重複直到一極限數)會返回第二狀態以及第三狀態直到滿足一給定的門檻值，如一最大重複次數或一最小差異更新，其中回到第二狀態來執行第一階段(步驟 620，即在第  $i$  次疊代中的通道係數估計)，回到第三狀態來執行第二階段(步驟 630，即在第  $i$  次疊代中的 AoD 估計)。此模型基礎通道估計方法的運作流程如下。首先，經由一些現有的算法，例如一階層估計演算法(rank estimation algorithm)或一模型階級數估計演算法(model order estimation algorithm)，對一衍生的通道模型，決定模型階級數  $K_L$ 、 $K_F$ 、 $K_T$  和  $K_R$ (步驟 610)。此步驟可採取離線來實現。例如，如果可以接受因模型階級數的不匹配所造成的性能損失，則此步驟可採用一些固定的模型階級數來實施。接下來，開始第一次疊代程序，即  $i=1$ ，以執行步驟 620 和步驟 630。然後到第四狀態來執行疊代程序，即  $i=i+1$ ，直到此疊代  $i$  的值達到一極限數(limit number)。最終狀態是，為後置處理運算來重建一全維通道估計(步驟 650)。此通道估計  $H_L$  可藉由一指導向量重建如下列式子：

$$\text{vec}(H_L) \approx [Q_{L,K_L} \otimes Q_{F,K_F} \otimes \bar{Q}_{T,K_T} \otimes Q_{R,K_R}] C_{\text{coef}}$$

此模型基礎的通道估計器和通道估計方法可以顯現同時提供通道係數估計和 AoD 估計的優勢。以下詳細描述第一階段和第二階段後，可以更瞭解。

第一階段—通道係數估計:

假設方向矩陣是最佳的，即  $\hat{W}_{FL}^{[i-1]} = W_{FL}^{optimum}$ ，因此通道

$$\hat{W}_{FL}^{[i-1]} = W_{FL}^{optimum}$$

係數的最小平方(LS)估計即為

$$\hat{C}_{coef}^{[i]} = \left\{ \left[ \left( \hat{W}_{FL}^{[i-1]} X_L \right)^T \left( Q_{L,K_L} \otimes Q_{F,K_F} \otimes Q_{T,K_T} \right) \right]^{\dagger} \otimes Q_{R,K_R}^{\dagger} \right\} \text{vec}(Y_L)$$

$$\hat{W}_{FL}^{[i-1]} = I_{FL} \otimes \hat{W}^{[i-1]}$$

$$I_{FL} = \begin{bmatrix} 1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & 1 \end{bmatrix}_{FL \times FL}$$

其中

$\{ \}^{\dagger}$  表示擬似反向(pseudo-inverse)運算。

$\hat{W}_{FL}^{[i-1]}$  是一  $FLM \times FLM$  矩陣，包含此 AoD 資訊  $W$ 。

$$\hat{W}_{FL}^{[i-1]}$$

$\hat{W}^{[i-1]}$  是一  $M \times M$  矩陣，表示在第  $i-1$  次疊代程序的  $W$  估計。

$$\hat{W}^{[i-1]}$$

$\hat{C}_{coef}^{[i]}$  是一  $K_L K_F K_T K_R \times 1$  向量，表示在第  $i$  次疊代程序的  $C_{coef}$

估計，這是矩陣  $W_{FL}^{optimum}$  的一函數。在第  $i$  次疊代程序時，

由於最佳方向矩陣不可用，而以疊代估計 來代替

$$\hat{W}_{FL}^{[i-1]}$$

$$W_{FL}^{\text{optimum}}$$

第二階段—AoD 估計(方向估計):

與第一階段相似，當估計方向資訊時，假設最佳係數向量是可用的，即  $\hat{W}_{FL}^{[i-1]}$ 。然後定義一新的矩陣  $G^{[i]}$

$$\hat{C}_{\text{coef}}^{[i-1]} = C_{\text{coef}}^{\text{optimum}}$$

如下所示。

$$G^{[i]} \triangleq Q_{R,K_R} \bar{C}_{\text{coef}}^{[i-1]} (Q_{L,K_L} \otimes Q_{F,K_F} \otimes Q_{T,K_T})^T,$$

其中  $\bar{C}_{\text{coef}}^{[i-1]}$  是一  $K_R \times K_L K_F K_T$  矩陣，由下列式子推導而來。

$$\bar{C}_{\text{coef}}^{[i-1]}(i,j) = \hat{C}_{\text{coef}}^{[i-1]}(K_R(j-1)+i), \quad \text{其中 } 1 \leq i \leq K_R, 1 \leq j \leq K_L K_T K_F.$$

$C(i,j)$  是矩陣  $C$  的第  $i$  行，第  $j$  列的元素，並且  $\bar{C}_{\text{coef}}^{[i-1]}$  是從  $K_R K_L K_F K_T \times 1$

到  $K_R \times K_L K_F K_T$  的 排列。

定義一矩陣  $T^{[i]}$  如下所示。

$$T^{[i]} \triangleq [(1_{F \times L} \otimes G^{[i]}) \odot (X_L^T \otimes 1_{N \times 1})] (1_{F \times L} \otimes I_M)$$

其中

$\odot$  代表 Hadamard 乘積的運算。

103年7月14日 修正  
對線 (本)

$\mathbf{1}_{F \times L}$  是一全一(all-one)矩陣，即

$$\mathbf{1}_{F \times L} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{F \times L} \quad \text{和} \quad \mathbf{1}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{N \times 1}$$

$\mathbf{I}_M$  是一單位矩陣(unit matrix)，即

$$\mathbf{I}_M = \begin{bmatrix} 1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & 1 \end{bmatrix}_{M \times M}$$

然後藉由一求根的(root-finding)問題找到最佳相位估計(phase estimate)，如下所示。

$$\hat{Z}^{[i]} = \underset{Z}{\operatorname{argmin}} |Z| - 1|$$

$$\text{s.t. } P(Z) = \mathcal{A}(T^{[i]H} \operatorname{vec}(Y_L)) Z - M = 0$$

其中  $Z$  是一  $M \times 1$  向量，只有一未知變數  $z$ ，使得

$$Z = [1, z, z^2, \dots, z^{M-1}]^T$$

$\hat{z}^{[i]}$  是在第  $i$  次疊代的估計結果，即

$$\hat{Z}^{[i]} = [1, \hat{z}^{[i]}, \hat{z}^{[i]2}, \dots, \hat{z}^{[i]M-1}]^T$$

$\{\ }^H$  是埃爾米特(Hermitian)轉換運算。

$\square$  表示相位擷取(phase extraction)，定義如下：

$$\mathcal{A}(a_0 e^{jb_0}, a_1 e^{jb_1}, \dots, a_k e^{jb_k}) \triangleq [1, e^{j(b_1-b_0)}, \dots, e^{j(b_k-b_0)}] \text{ for } a_{i=0}^K \in \mathbb{R}^{K+1} \text{ and } b_{i=0}^K \in [0, 2\pi) \circ$$

最小數問題(minimum problem)是求解  $P(z)=0$  以得到  $M-1$  個根，然後從  $M-1$  個根中找到一個能降低成本

函數的最好的根(best one)，即  $\arg \min_z |z|$ 。在第  $i$  次疊代程序

$$||z|-1|$$

的方向矩陣  $\hat{W}^{[i]}$  可以由下列式子來建構。

$$\hat{W}^{[i]} = \begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & z^{[i]} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & z^{[i]M-1} \end{bmatrix}$$

其中  $z^{[i]}$  是第  $i$  次疊代程序中  $z$  的估計，是  $\hat{z}^{[i]}$  的一元素。換句話說，從相關性多項式  $P(z)=0$  尋找其根，這是單位圓的最接近值，然後從  $z^{[i]}$  取得 AoD 資訊。方向矩陣是由一單位矩陣  $I_L$  乘以  $z$  的估計的對角線矩陣來重建。換句話說，AoD 資訊可以由一方向估計經由一相位擷取  $\phi$  來取得，並且可以藉由一個求根的問題找到一最佳的相位估計。

在每次疊代程序中，通道係數估計和 AoD 提取兩者皆會被執行。換句話說，所揭露的通道估計器或通道估計方法藉由考慮空間、時間和頻率的相關性，提供了一以單一區塊(single-block)為基礎的通道係數的最小平方估計，並且顯現同時提供通道係數估計和 AoD 估計的優勢。如第六圖中步驟 640 所描述，當滿足該條件時，它可以停止重複。此停止條件可以被定義為一最大重複次數或是一最小差異更新，例如，如果  $i > 5$ ，則停止，不然則增加  $i$ ，即  $i=i+1$ ，以便繼續第一階段和第二階段。

對於一具有梳型(comb-type)領航器的系統模型，所有的設定是幾乎相同的，但是用較少的領航器。在頻域，其發送和接收矩陣如下列所示。

$$Y_n^\varphi = [Y_n(k_1), Y_n(k_2), \dots, Y_n(k_\varphi)]'$$

$$X_n^\varphi = \begin{bmatrix} X_n(k_1) & & & 0 \\ & X_n(k_2) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & X_n(k_\varphi) \end{bmatrix}$$

其中， $k_i \in S_K$  表示頻率的領航器指標，例如， $S_K = [1, 2, 6, 7, \dots, 126, 127]$ ，則  $k_2=2$ ，和  $k_3=6$ 。  $\varphi$  是頻域之發送領航器的總數。同樣地，在時域中，

$$Y_\psi = [Y_{n_1}^\varphi, Y_{n_2}^\varphi, \dots, Y_{n_\psi}^\varphi]$$

$$H_\psi = [H_{n_1}^\varphi, H_{n_2}^\varphi, \dots, H_{n_\psi}^\varphi]$$

$$X_\psi = \begin{bmatrix} X_{n_1}^\varphi & & & 0 \\ & X_{n_2}^\varphi & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & X_{n_\psi}^\varphi \end{bmatrix}$$

其中， $n_i \in S_N$  表示時域領航器指標，例如  $S_N = [6, 7, 13, 14]$ 。  
 $\psi$  是時域發送領航器的總數，例如  $\psi=4$ 。

對於梳型領航器的系統模型，其基底也降低到一適當的大小。在實施範例中，僅使用在領航器指標名單上



的矩陣的  $i$  個列，例如，時域和頻域的基底將減少如下。

$$\bar{Q}_{L,K_L} = \begin{bmatrix} q_{L,n_1} \\ q_{L,n_2} \\ \vdots \\ q_{L,n_\psi} \end{bmatrix}, \text{ and } \bar{Q}_{F,K_F} = \begin{bmatrix} q_{F,k_1} \\ q_{F,k_2} \\ \vdots \\ q_{F,k_\varphi} \end{bmatrix}$$

其中，

$q_{L,n_i}$  是一  $1 \times K_L$  向量，是時域基底矩陣  $Q_{L,K_L}$  的第  $n_i$  個列向量，即

$$Q_{L,K_L} = [q_{L,1} = q_{L,2} = \dots = q_{L,L}]^T$$

，並且  $\bar{Q}_{L,K_L}$  是它的一較小的集合。

$q_{F,k_i}$  是一  $1 \times K_F$  向量，是頻域基底矩陣  $Q_{F,K_F}$  的第  $k_i$  個列向量，即

$$Q_{F,K_F} = [q_{F,1} = q_{F,2} = \dots = q_{F,K}]^T$$

，並且  $\bar{Q}_{F,K_F}$  是它的一較小的集合。

由於在空間域有充分的領航器，所以用於發送和接收天線的基底仍與連續式領航器相同。

在分析均方誤差(mean square error, MSE)性能中，是以一  $8 \times 8$  的 MIMO-OFDM 系統使用求根方法，其 FFT

大小為  $k=128$  和  $AS = 2^0$  的範例模擬結果來說明。通道模型是根據 3GPP 的空間通道模型 (spatial channel model, SCM)，此通道模型根據一組選定的參數如 AoD、到達角度 (angle of arrival, AoA) 等，來產生此通道係數。此通道模型是一參數化隨機模型 (parametric stochastic model)，其空間交叉相關性 (spatial cross correlation) 是在發送端的 AoD 和在接收端的 AoA 的聯合分佈 (joint distribution) 的函數。

假設在移動台周圍的環境是具有豐富的散射與可忽略不計的空間相關性。因此，使用一個全階層基底矩陣來描述在接收端的空間相關性。在模擬中使用其他的假設和條件如下：(1)發送和接收陣列的天線間距是一樣的，(2)使用一正交訓練矩陣 (training matrix)，(3)模擬使用 10 次疊代，(4)在每一接收天線之輸入端的  $E_b/N_0$  被定義為平均信號與噪音功率比 (signal to noise ratio, SNR)，(5)正交多項式基底矩陣被用於單式矩陣  $Q_L$ 、 $Q_T$ 、和  $Q_R$ 。所有的演算法計算頻域通道響應已如上所述，是以代替第一階段的最終結果 (即估計的係數矩陣) 和第二階段的最終結果來成為通道估計  $H_L$ 。此通道是具有近似兩階層的一種區塊衰落 (block fading)。由於基地站 (BS) 的空間相關性都很高，相對應的相關性函數位於低維的子空間，因此小的  $K_T$  就足以描述此通道。第七圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明在一 SCM 通道中，模型階級數  $K_T$  對求根方法的 MSE 性

能的效果。第八圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明在一 SCM 通道中，模型階級數  $K_T$  和  $K_L$  對求根方法 MSE 性能的效果。

參考第七圖的範例，考慮時間相關聯的一衰落環境和使用觀察窗  $L=7$ ，假設空間域或時間域的相關性足夠高，則處理的維數可以大大減少。當模型階級數不夠大而無法捕捉到通道特性時，即出現性能下降。從第七圖的範例可看出，對任何給定的 SNR，存在一個最佳的  $K_T$ 。提高模型階級數  $K_T$  並不一定能提高性能。正如所預期的，當 SNR 高時，模擬誤差支配該 MSE 性能。

在第八圖的範例中，時域相關性夠高時，可以大大減少處理的維數  $K_L$ 。並且，如果考慮到一可接受的 MSE 的某一特定水平，例如  $(10^{-3}, 10^{-4})$ ，則本揭露實施例的模型基礎的通道估計器和方法可以減少處理的維數  $K_T$ 、 $K_L$ 、和  $D$ ，以進一步維持一合理的誤碼率(BER)性能，其中  $D$  是對一離散時間 MIMO 通道脈衝響應的一基地站天線和一移動台天線之間的路徑數(number of paths)。例如，在  $K_T=4$ 、 $K_L=2$  和 CP 比例=1/16 的情況下，MSE 性能是低於  $10^{-3}$ ，壓縮率(compression rate)是  $(4/8) \times (2/7) \times (1/16) = 0.0089$ ，此說明了只需要 1% 的係數就能有效地表示通道響應。換言之，在本揭露實施例的模型基礎通道估計器中，即使如壓縮率高到 1%，在高

度相關性的環境中，其模型基礎的通道估計有能力維持在一個可接受的 MSE。

本揭露實施範例的降階層通道模型可應用於前置或後置通道估計，例如 CSI 反饋、預編碼器設計和用戶/通道選擇。第九圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明所揭露的模型基礎通道估計的反饋模型係數的應用。在此應用範例中，藉由建立通道的時間、頻率和空間的相關性可得到反饋模型係數。對一 MIMO 系統所獲得的反饋模型係數，在時間域、頻率域和空間域的維數分別以  $L$ 、 $K$ 、 $M$  和  $N$  表示。相較於 LTE 碼書基礎的機制，第九圖中的反饋模型係數是更簡潔的通道係數。例如，對於第九圖中的反饋模型係數， $L \times K \times M \times N$  可以是  $4 \times 1 \times 2 \times 8$ 。而對於 LTE 碼書基礎的機制的通道係數， $L \times K \times M \times N$  會是  $12 \times 14 \times 8 \times 8$ 。本揭露實施範例的模型基礎通道估計器可以對 MIMO 系統中的一資源區塊 (resource block)，於不同的時間和副載波，提供不同的預編碼矩陣 (precoding matrix)，而不是一個資源區塊僅有一個相同的預編碼矩陣。

對於在接收端或碼書選擇的後置通道估計的應用上，本揭露的模型基礎通道估計器由於具有空間基底，可以降低搜查的複雜度 (search complexity)，並且由於考慮時域和頻域之間的相關性，可以提高碼書的選擇準確度。第十圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，

說明所揭露的模型基礎通道估計器在接收端後置通道估計的應用。參考第十圖的範例， $4 \times 1 \times 2 \times 8$  反饋模型係數和 AoD 資訊由所揭露的模型基礎的通道估計器 500 所產生，其中一模型階級數估計器 1010 可以提供模型階級數  $K_L$ 、 $K_F$ 、 $K_T$  和  $K_R$  給通道估計器 500。此  $4\{\text{頻率}\} \times 1\{\text{時間}\} \times 2\{\text{發送空間}\} \times 8\{\text{接收空間}\}$  反饋模型的係數被進一步用於碼書選擇 1020。同樣地，對於一個資源區塊，在接收端 1000 於不同的時間和副載波，提供了不同的預編碼矩陣，而不是一個資源區塊僅有一個相同的預編碼矩陣。

對於前置通道估計的應用，例如在發送端或預編碼器，所揭露的基礎模型通道估計器由於在發送端使用了空間基底，並提供天線的發送角度的資訊，所以可減少需要的上傳鏈節的傳輸。第十一圖是與所揭露的一實施範例一致的一示意圖，說明所揭露的基礎模型通道估計器在發送端前置通道估計的應用。參考第十一圖的範例，在發送端 1100，現在空間、時間和頻率的資訊可以使用。因此，此基礎模型通道估計器可以提供時間、頻率和空間基底給預編碼 1110。並且，模型基礎通道估計器產生 AoD 的資訊，碼書指標和通道階層(channel rank)可進一步用於碼書選擇。利用來自碼書選擇的計算結果和模型基礎通道估計器所提供的模型基底，在發送端 1100 於不同的時間和副載波，提供了不同的預編碼

矩陣，而不是一個資源區塊僅有一個相同的預編碼矩陣。

第十二圖是與所揭露的一實施範例一致的一接收端示意圖。備有一碼書選擇器的接收端 1200 可包含一模型基礎通道估計器 500 和一模型階級數估計器 1220。模型階級數估計器 1220 分別為基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$ 、和  $Q_{R,K_R}$  估計其模型階級數  $K_L$ 、 $K_F$ 、 $K_T$  和  $K_R$ 。模型基礎通道估計器 500 的運算與功能已描述於第五圖。如前所述，藉由使用多個接收信號  $Y_p$ 、多個發送領航器  $X_p$ 、估計的模型階級數  $K_L$ 、 $K_F$ 、 $K_T$  和  $K_R$ 、以及建立時域、頻域和空間通道相關性的基底  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$ 、 $Q_{R,K_R}$ ，模型基礎通道估計器 500 對一給定的 AoD，估計通道矩陣的通道係數 Coef，然後根據此估計的通道矩陣來估計一平均 AoD。並且模型基礎通道估計器 500 重複通道係數的估計和平均 AoD 的估計，直至滿足一停止條件。如前所述，當滿足停止條件時，模型基礎通道估計器 500 使用  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $\tilde{Q}_{T,K_T}$ 、 $Q_{R,K_R}$  和

Coef 來重建一個通道估計  $H$ ，其中  $\tilde{Q}_{T,K_T}$  包含發送基底

$Q_{T,K_T}$  和 AoD 的資訊。類似地，對於一個資源區塊，在接收端 1200 於不同的時間和副載波，提供了不同的預

編碼矩陣，而不是一個資源區塊僅有一個相同的預編碼矩陣。接收端 1200 還可以包括通道模型的一基底決定器 (base determiner) 1210，來預先決定多個基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$ 。

所以，藉由建立時間、頻率和空間通道的相關性，並且可進一步提供準確的估計、結構簡潔(compact)和實用的 CSI、以及削減潛在的後處理的複雜性的方法或裝置，本揭露實施範例提供一通用降階層通道模型和一相對應的低複雜度估計方法給寬帶空間相關性的 MIMO 系統。本揭露實施範例也提供了一種以單一區塊為基礎的重複最小平方通道估計器，此通道估計器考慮了頻率相關性和時間相關性。所揭露的基礎模型通道估計器和方法可以進一步在發送端產生時間、頻率和空間的基底，以及在發送端天線的發送角度。除了通道估計，本揭露實施範例也提供了一接收端，此接收端進一步包括一基底決定器和一模型階級數估計器。此基底決定器和此模型階級數估計器用來建構此通道估計的系統和通道模型，這可以是離線建構。

以上所述者皆僅為本揭露實施例，不能依此限定本揭露實施之範圍。大凡申請專利範圍所作之均等變化與修飾，皆應屬於專利涵蓋之範圍。

**【圖式簡單說明】**

第一圖是一種典型的 MIMO 系統的一範例示意圖。

第二圖是一種 MIMO OFDM 系統的稀疏通道估計的一範例示意圖。

第三圖是一通信系統的降階層通道估計的技術的一範例示意圖。

第四圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明一 MIMO 系統在頻率，時間和空間域所需要的通道係數。

第五圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器。

第六圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例流程圖，說明一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計方法。

第七圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明在一 SCM 通道中模型階級數  $K_T$  對求根方法的效果。

第八圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明在一 SCM 通道中模型階級數  $K_T$  和  $K_L$  對求根方法的效果。

第九圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明模型基礎通道估計器的反饋模型係數的應用。

第十圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明模型基礎通道估計器在接收端後置通道估計的應用。



第十一圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明模型基礎通道估計器在發送端前置通道估計的應用。

第十二圖是與所揭露的一實施範例一致的一範例示意圖，說明一接收端。

## 【主要元件符號說明】

MIMO 多輸入多輸出

202 使用一最小平方的方法且/或迫零的方法來計算粗糙的通道

204 頻域插補程序

206 減少均方誤差

212 從粗糙和細緻的通道估計計算噪音項目

214 噪音項目與每一音調的信號傳輸矩陣相乘

216 轉換頻域係數到時域

218 對接收天線計算噪音方差估計

310 估計通道的嚴重延遲

312 產出全維通道估計

314 計算通道的一協方差矩陣

320 使用系統的全階層來模擬通道

322 估計通道子空間

324 估計降階層通道參數

326 轉換通道參數回到全維

500 模型基礎通道估計器

520 通道參數估計器

522a 給定的 AoD

524 平均 AoD

530 估計重建單元

AoD 離開角度

610 對一衍生的通道模型，決定模型階級數  $K_L$ 、 $K_F$ 、 $K_T$  和  $K_R$

620 第一階段，在第  $i$  次疊代中的通道係數估計

630 第二階段，在第  $i$  次疊代中的 AoD 估計

640 重複直到一極限數

650 重建一全維通道估計

1000 接收端

1010 模型階級數估計器

1020 碼書選擇

1100 發送端

1110 預編碼器

1200 接收端

1210 基底決定器

1220 模型階級數估計器

## 七、申請專利範圍：

1. 一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計器，該相關性衰落通道適應於具有一發送天線陣列和一接收天線陣列的一多輸入多輸出(MIMO)系統，該模型基礎通道估計器包含：  
一通道參數估計器，根據多個接收信號、多個發送導航器、一衍生通道模型的多個已知的模型階級數、以及多個預定基底，來對一給定的離開角度(AoD)估計一通道矩陣的一係數向量，然後根據估計的該通道矩陣來估計一平均 AoD，其中，該多個預定基底用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一接收天線陣列間的空間通道相關性，該通道估計器重複地估計該係數向量和該平均 AoD，直到滿足一停止條件；以及  
一估計重建單元，利用該多個預定基底、該係數向量、以及該平均 AoD 來重建一通道估計。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該多個預定基底至少包括一基底矩陣以描述在一時間域的通道行為、一基底矩陣以描述在一頻域的通道行為、一基底矩陣以描述該發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一基底矩陣以描述該接收天線陣列間的空間通道相關性。
3. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該通道估計器以離線計算該多個預定基底。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該通道估計是透過一向量化運算和一克羅內克乘積運算，並藉由一指導向量來重建。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該停止條件被定義為一最高的重複次數或是一最小的差異更新。
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該通道估計器是一種以單一區塊為基礎的通道係數的最小平方估計。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，其中該衍生通道模型是多個空間相關的區塊衰落 MIMO 通道的一降階層通道模型。
8. 如申請專利範圍第 1 項所述之模型基礎通道估計器，該模型基礎通道估計器對於該 MIMO 系統中的一資源區塊，在不同的時間和多個副載波，提供不同的預編碼矩陣。
9. 一種相關性衰落通道的模型基礎通道估計方法，該相關性衰落通道適應於具有一發送天線陣列和一接收天線陣列的一多輸入多輸出(MIMO)系統，該方法包含：  
藉由一估計算法來決定一衍生通道模型的多個模型階級數  $K_L, K_F, K_D, K_R$ ；  
藉由使用一疊代方法來執行一通道矩陣的一係數向量  $Coef$  的一估計和執行一離開角度(AoD)的一估計，並且當滿足一條件時則停止疊代；以及

藉由利用估計的該係數向量  $C_{\text{coef}}$  和多基底矩陣，記為  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $\tilde{Q}_{T,K_T}$ 、 $Q_{R,K_R}$ ，來重建一全維通道估計  $H_L$ ;

其中  $\tilde{Q}_{T,K_T}$  包含一基底矩陣  $Q_{T,K_T}$  與該 AoD，該衍生通道模

型是藉由預定該多個基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$  而衍生出，該多個基底矩陣  $Q_{L,K_L}$ 、 $Q_{F,K_F}$ 、 $Q_{T,K_T}$  和  $Q_{R,K_R}$  分別用來建立時間通道相關性、頻率通道相關性、該發送天線陣列間的空間通道相關性、以及該接收天線陣列間的空間通道相關性。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之模型基礎通道估計方法，其中該全維通道估計  $H_L$  是由一指導向量以下列式子來重建：

$$\text{vec}(H_L) \approx [Q_{L,K_L} \otimes Q_{F,K_F} \otimes \tilde{Q}_{T,K_T} \otimes Q_{R,K_R}] C_{\text{coef}}$$

其中  $\text{vec}(\ )$  是一向量化運算， $\otimes$  是一克羅內克乘積運算。

11. 如申請專利範圍第 9 項所述之通道估計方法，其中該係數向量  $\text{Coef}$  的估計是一疊代的最小平方通道估計。
12. 如申請專利範圍 9 項所述之模型基礎通道估計方法，其中該 AoD 被擷取，使得

$$\tilde{Q}_{T,K_T}^T = Q_{T,K_T}^T \times W, \text{ 其中 } W \text{ 是具有單位模數元素的一對角}$$

矩陣。

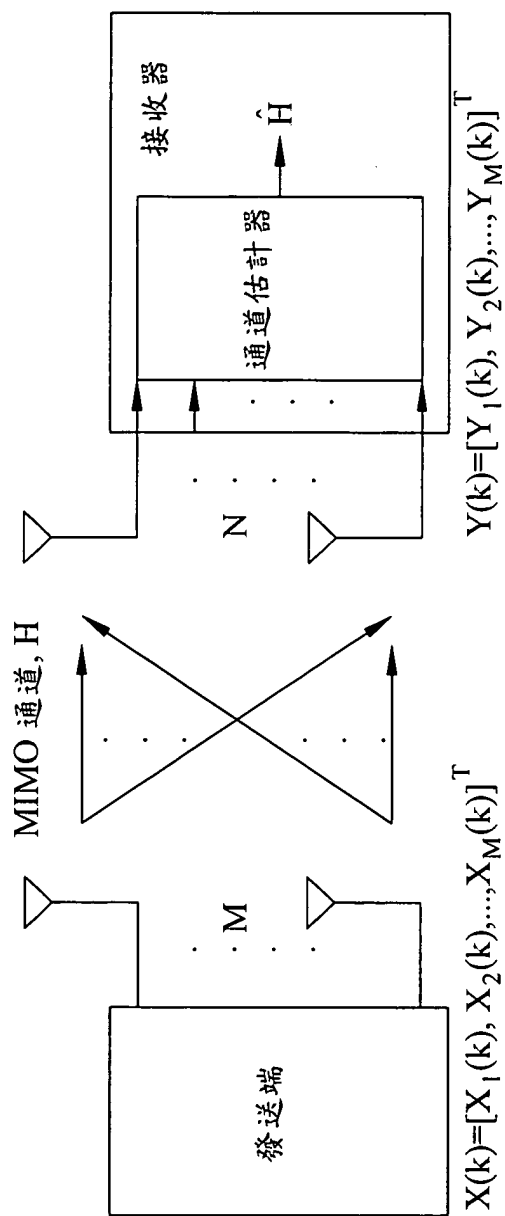
13. 如申請專利範圍第 12 項所述之模型基礎通道估計方法，其中該 AoD 是透過一相位擷取並藉由一方向估計來擷取，並且藉由一求根的問題來找到一最佳相位估計。

14. 如申請專利範圍第 9 項所述之模型基礎通道估計方法，其中該時間通道相關性、該頻率通道相關性、該發送天線陣列間的空間通道相關性、以及該接收天線陣列間的空间通道相關性是藉由多個單式矩陣作一正交轉換。
15. 如申請專利範圍第 9 項所述之模型基礎通道估計方法，該模型基礎通道估計方法對於該 MIMO 系統中的一資源區塊，在不同的時間和多個副載波，提供不同的預編碼矩陣。
16. 一接收端，備有一碼書選擇器，該接收端適應於具有一發送天線陣列和一接收天線陣列的一多輸入多輸出 (MIMO) 系統，並且包含：
  - 一模型行列數估計器，估計多個模型階級數；
  - 一模型基礎通道估計器，根據多個接收信號、多個發送領航器、一衍生通道模型的多個已知的模型階級數、以及多個預定基底，來對一給定的離開角度(AoD)估計一通道矩陣的一係數向量，然後根據估計的該通道矩陣來估計一平均 AoD，其中，該多個預定基底用以建立時間、頻率、一發送天線陣列間的空间通道相關性、以及一接收天線陣列間的空间通道相關性，該通道估計器重複地估計該係數向量和該平均 AoD，直到符合一停止條件，當該停止條件符合時，該模型基礎通道估計器利用該多個預定基底、該係數向量、以及該平均 AoD 來重建一通道估計。
17. 如申請專利範圍第 16 項所述之接收端，該接收端還包括一基底決定器來預定該多個基底，該多個基底至少包括

一個基底矩陣以描述在一時間域通道的行為、一基底矩陣以描述在一頻域通道的行為、一基底矩陣以描述該發送天線陣列間的空間通道相關性、以及一基底矩陣以描述該接收天線陣列間的空間通道相關性。

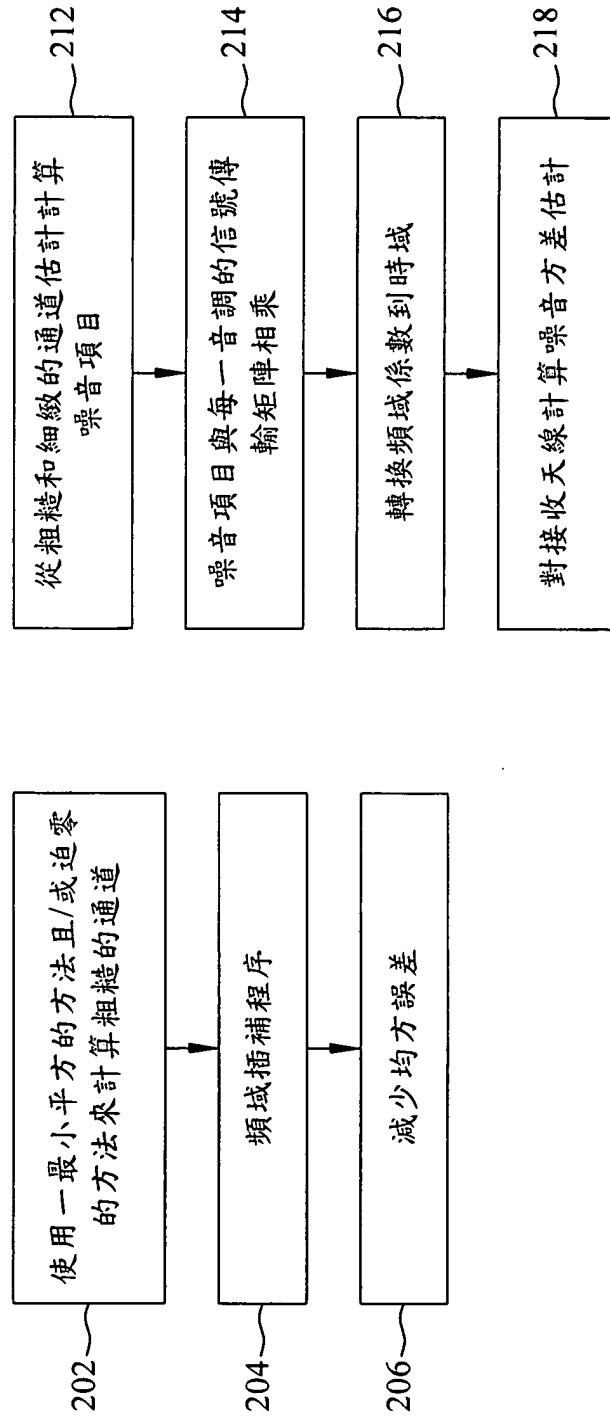
18. 如申請專利範圍第 16 項所述之接收端，其中該模型基礎通道估計器對於該 MIMO 系統中的一資源區塊，在不同的時間和多個副載波，提供不同的預編碼矩陣。

八、圖式

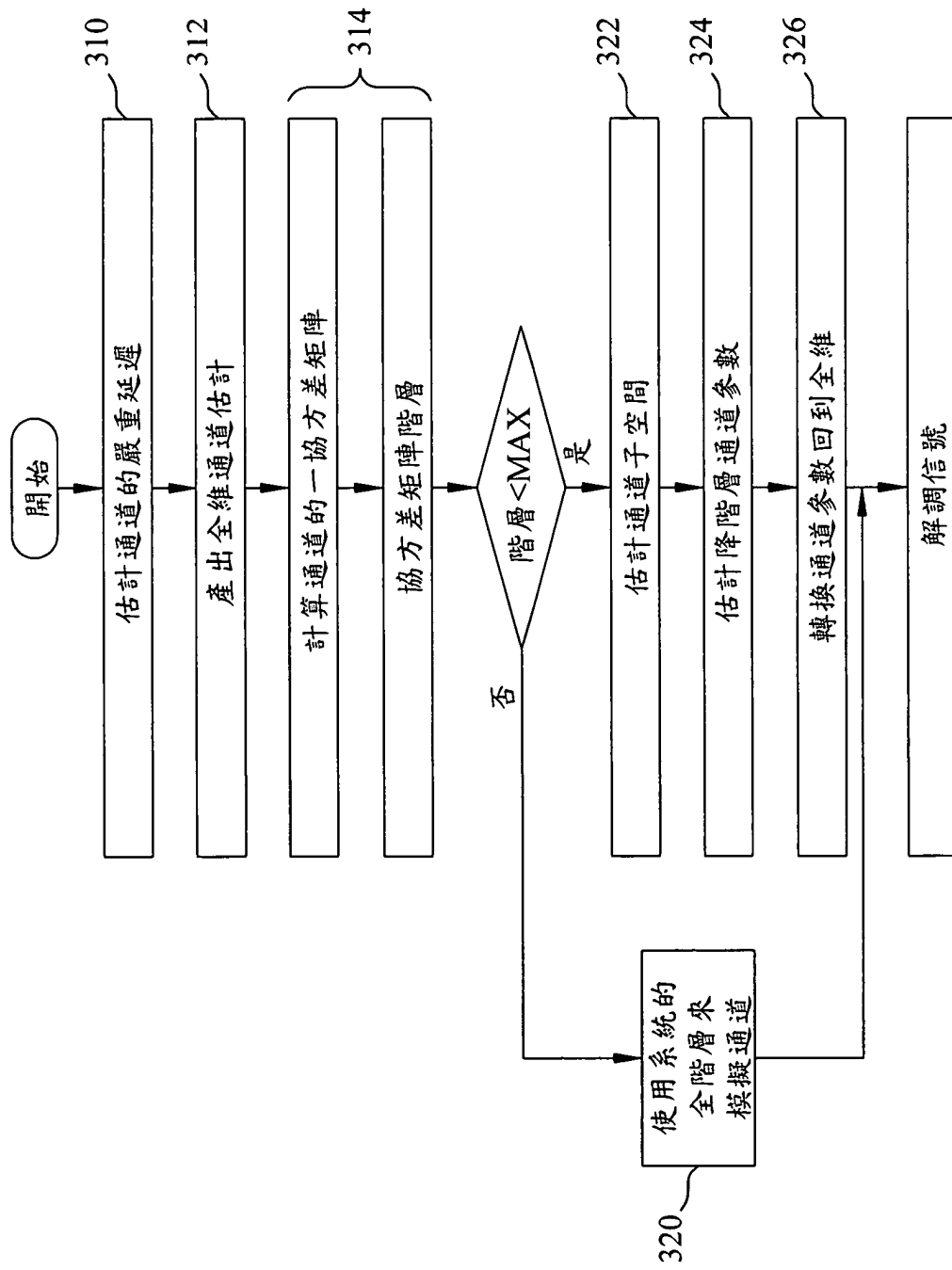


第一圖

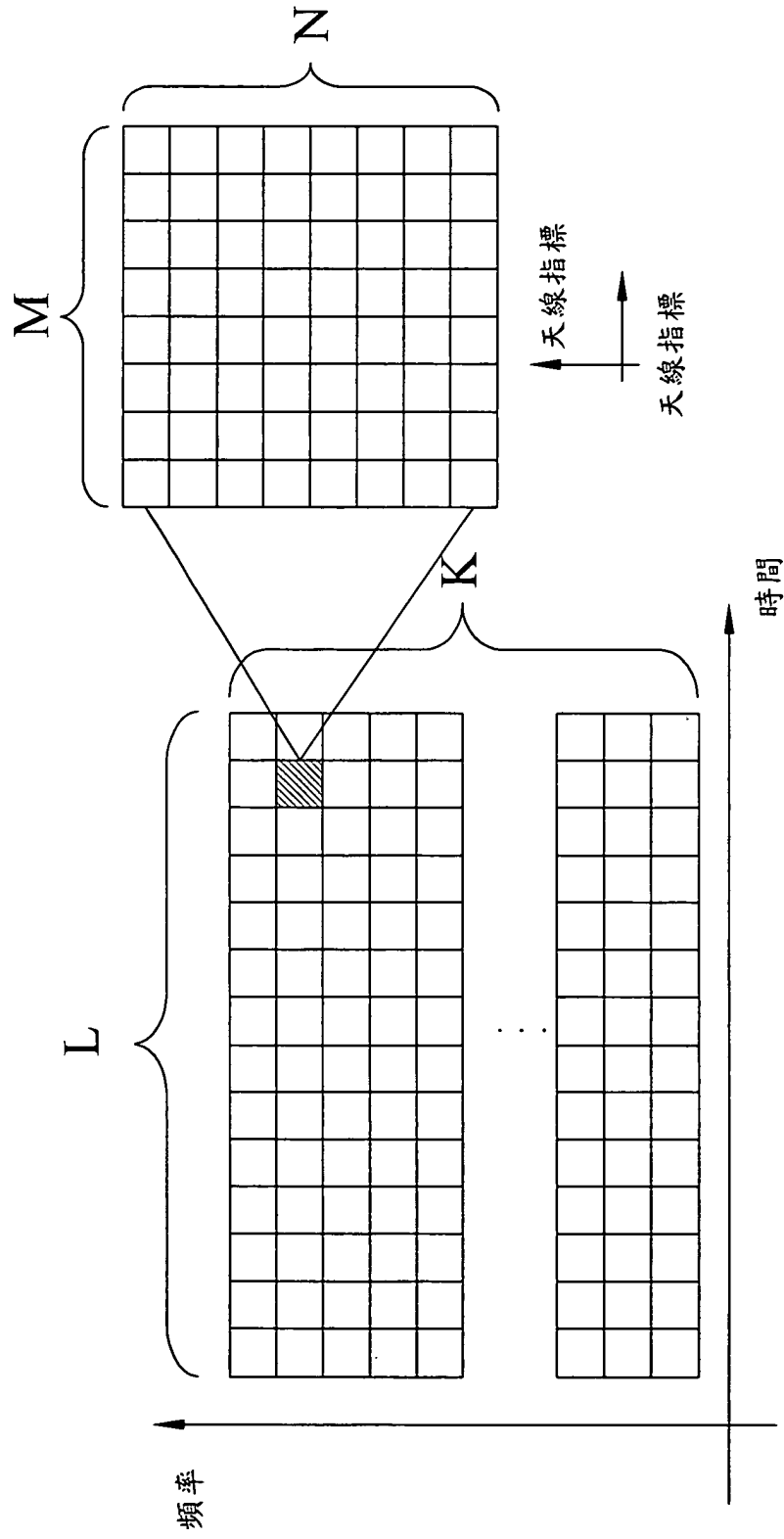




第二圖

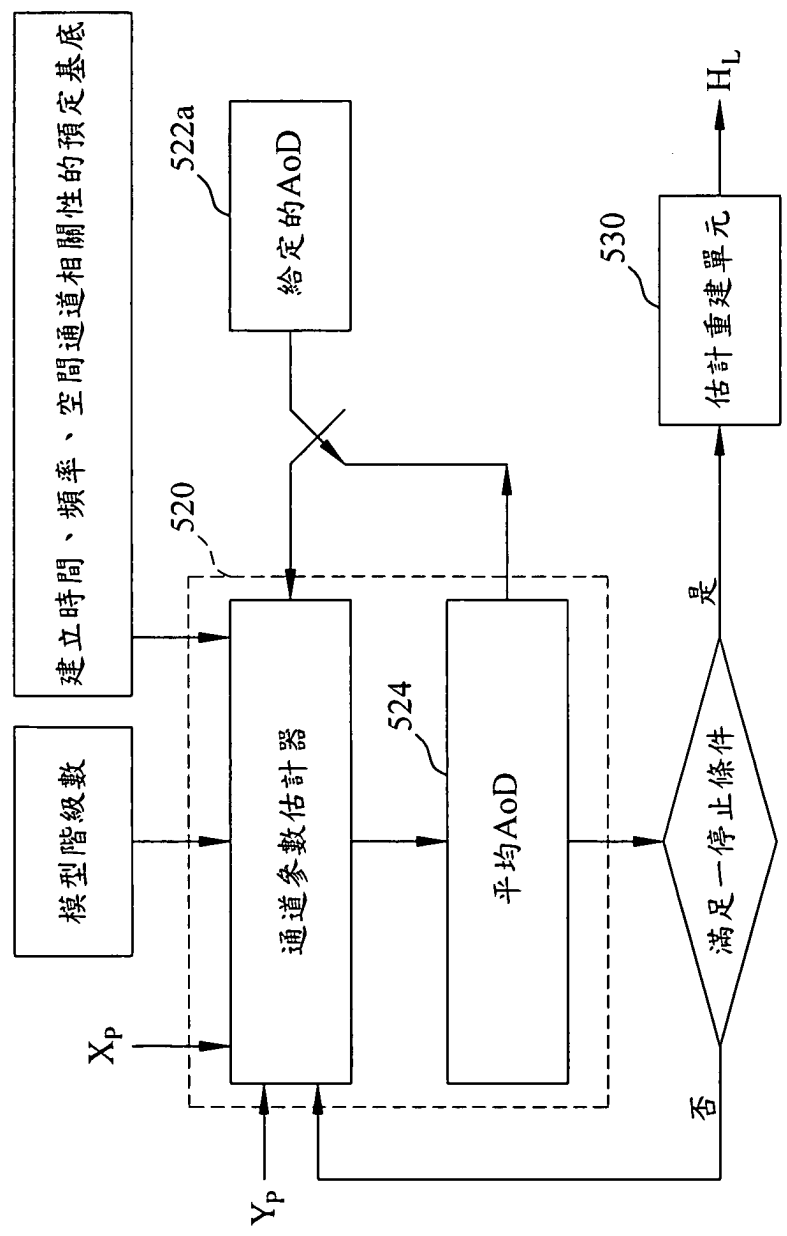


第三圖

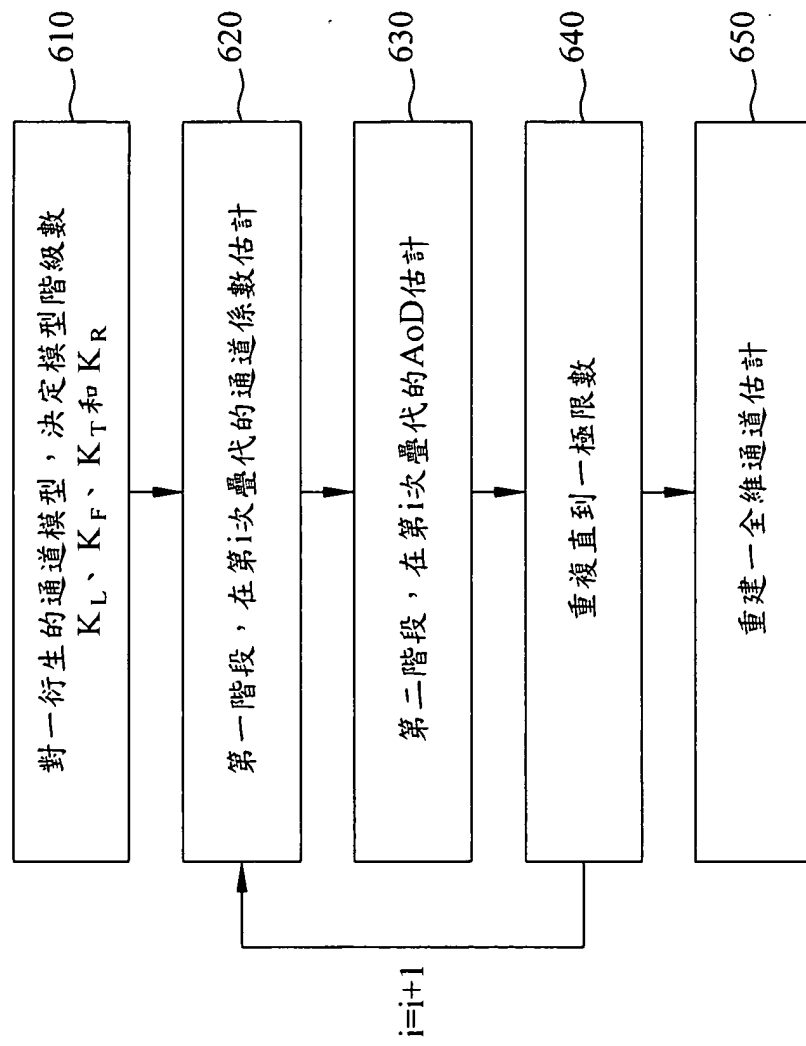


第四圖

500

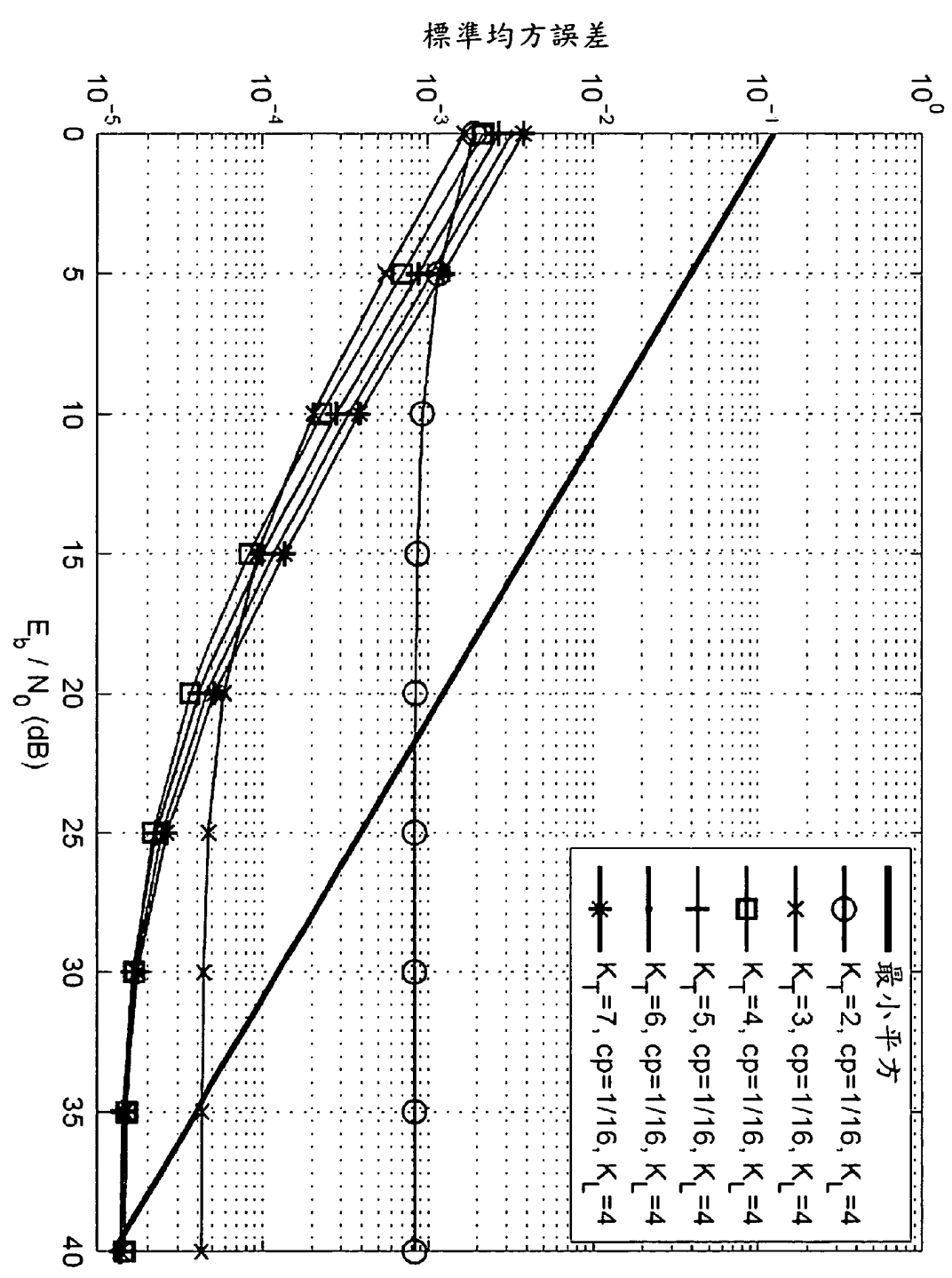


第五圖

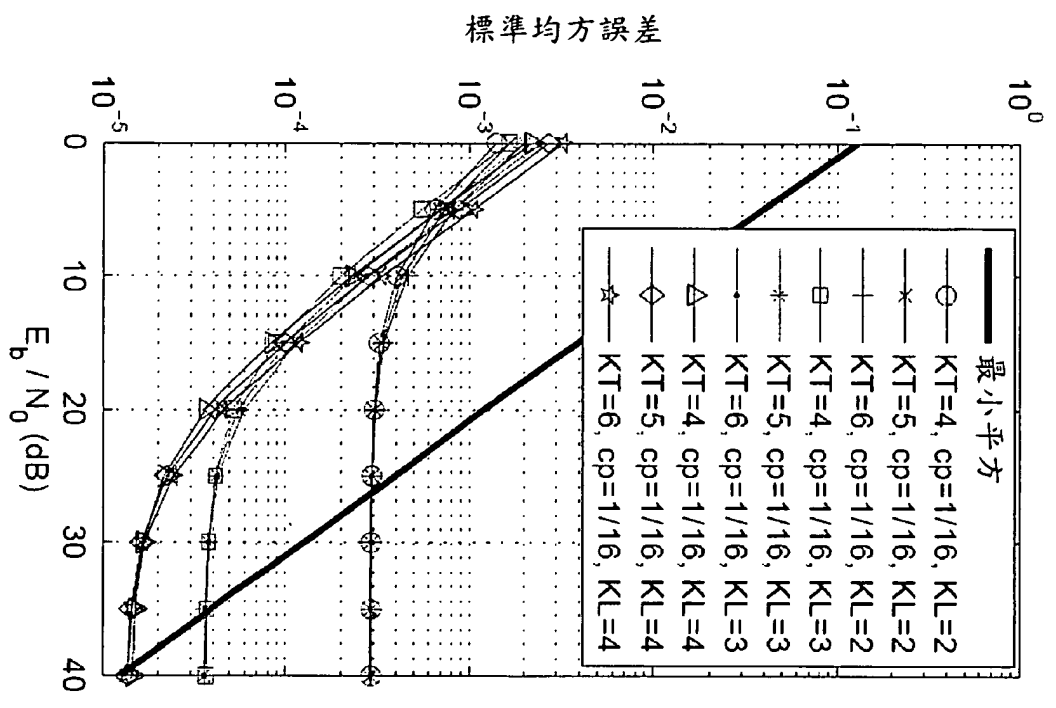


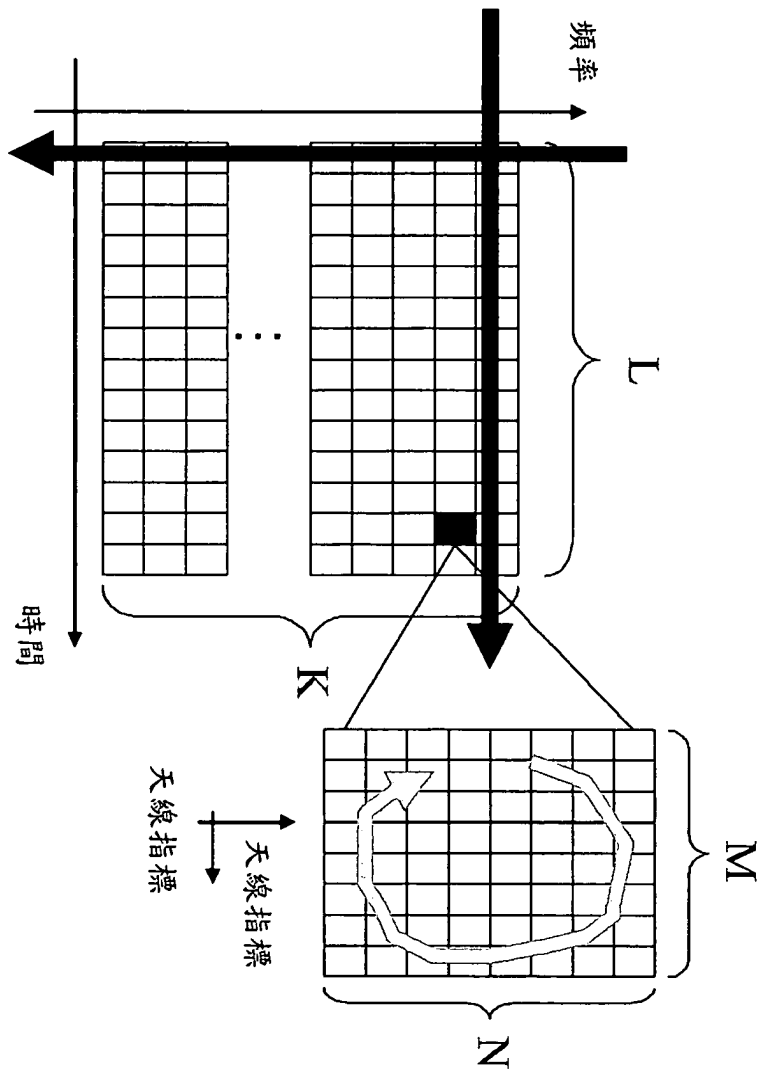
第六圖

第七圖



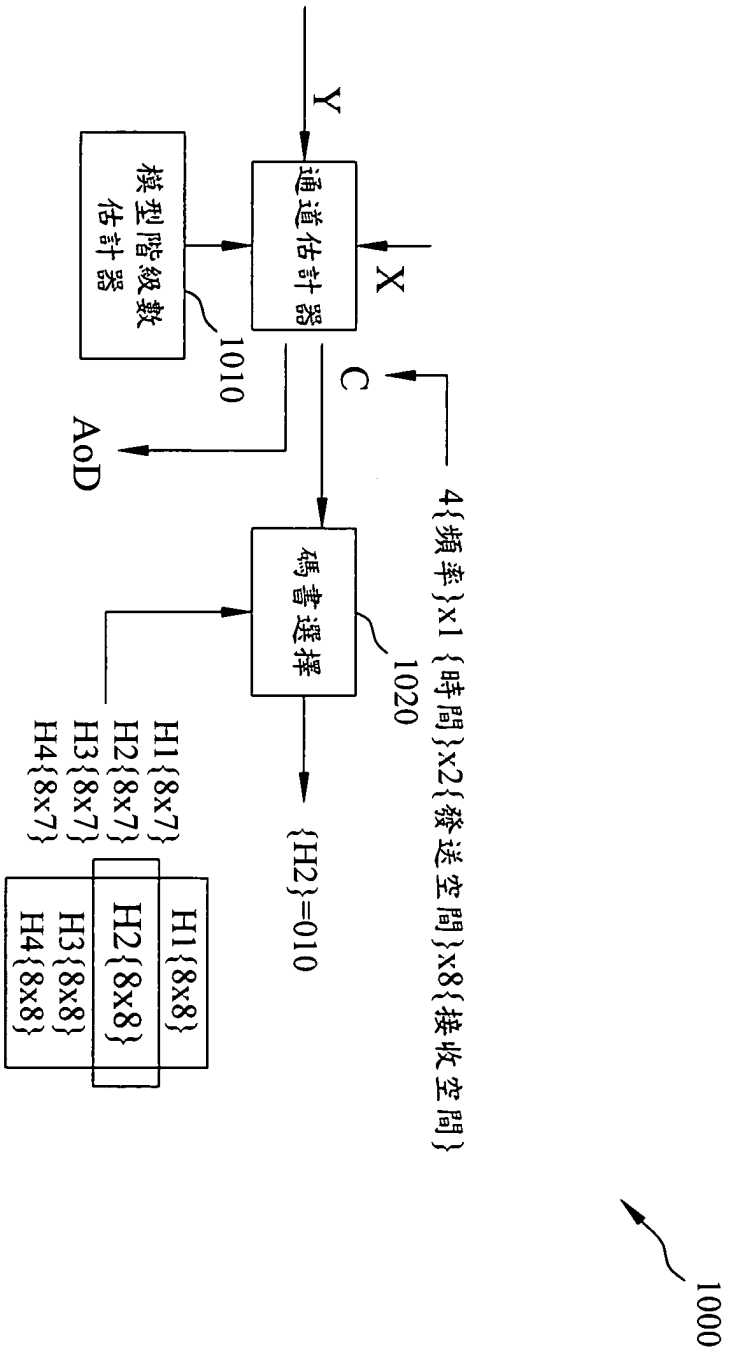
第八圖



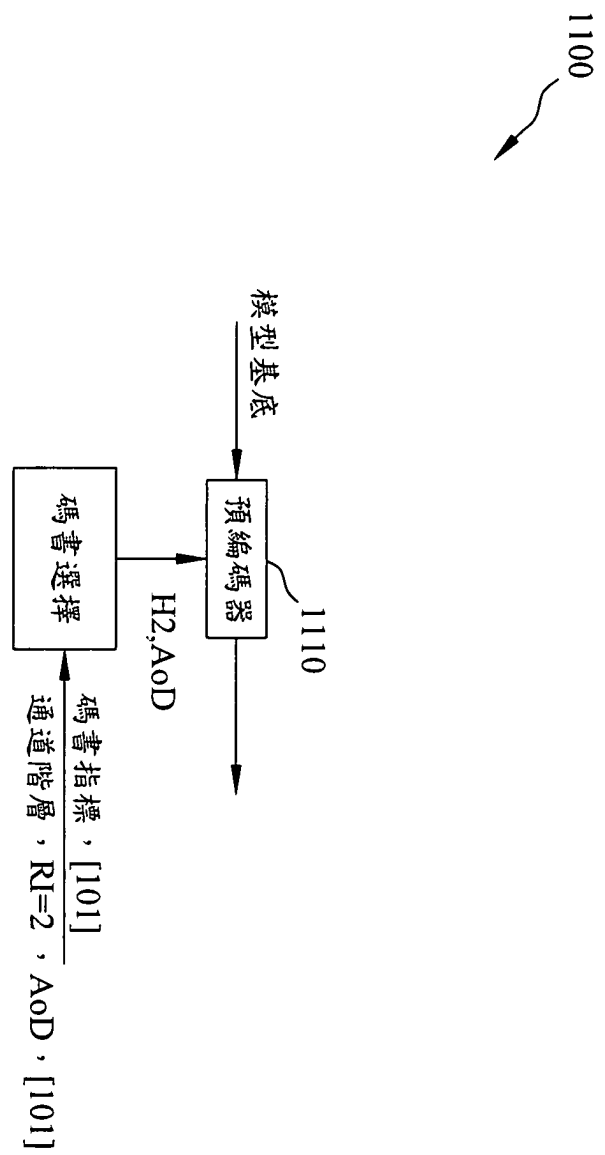


第九圖

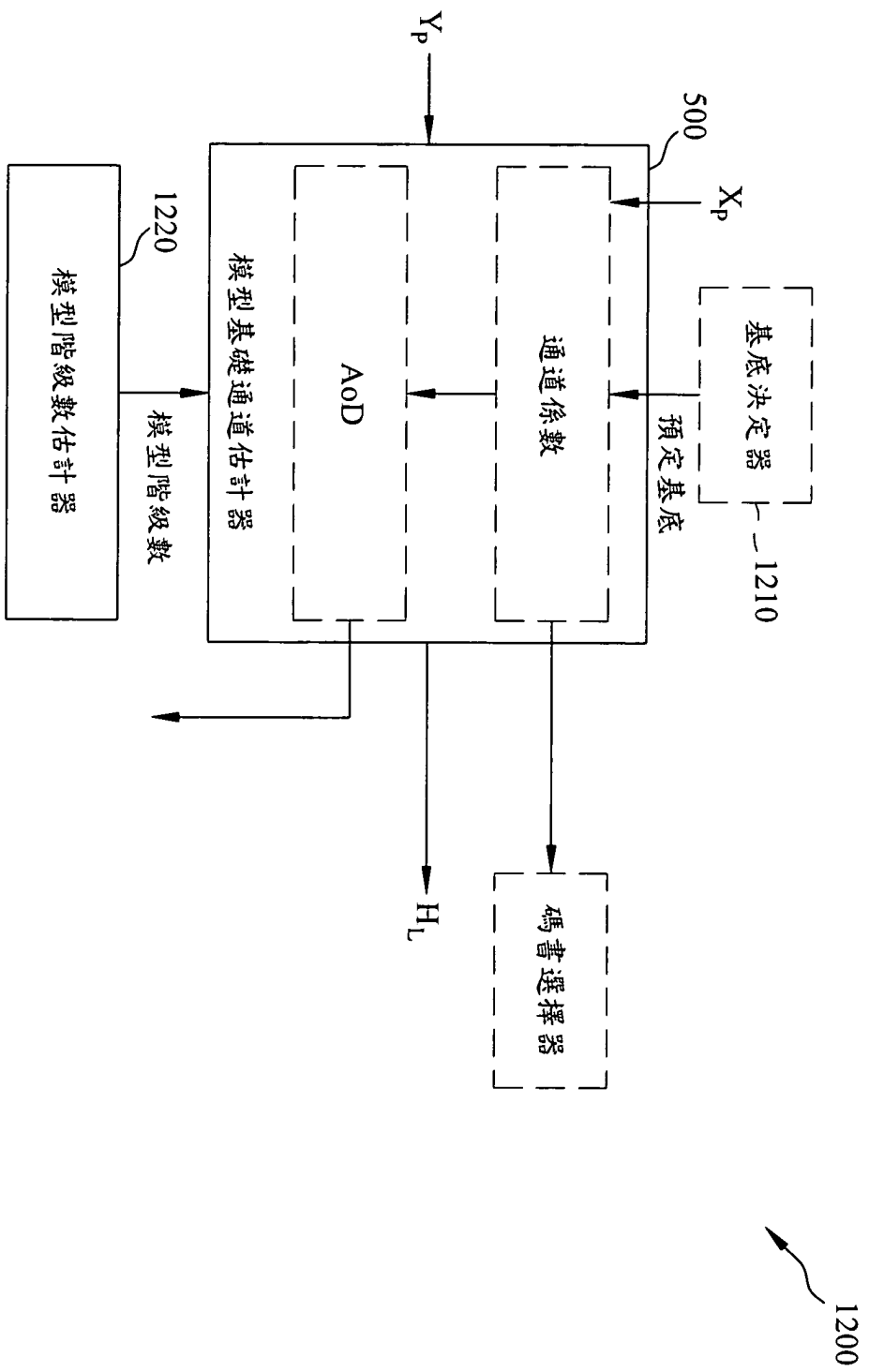




第十圖



第十一圖



第十二圖