

# 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： 97136180

※ 申請日期： 97.09.19      ※IPC 分類：H03M 13/43 (2006.01)

H03M 13/37 (2006.01)

H04B 7/04 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法

SPHERE DECODING METHOD APPLIED TO MIMO CHANNEL

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

瑞昱半導體股份有限公司

REALTEK SEMICONDUCTOR CORP.

代表人：(中文/英文) 葉博任 Po-Len Yeh

住居所或營業所地址：(中文/英文)

300 新竹科學園區創新二路 2 號

No. 2, Innovation Rd. II, Hsinchu Science Park, Hsinchu 300,  
Taiwan, R.O.C.

國 籍：(中文/英文) 中華民國 Taiwan(R.O.C.)

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 陳彥志 CHEN, YEN-CHIH

2. 鄭聰駿 CHENG, TSUNG-CHUN

3. 柳德政 LIU, DER-ZHENG

國 籍：(中文/英文)

1.-3. 中華民國 (R.O.C.)

#### 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： 年 月 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。

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法，且特別是有關於一種可以減少系統複雜度之應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法。

### 【先前技術】

隨著無線通訊技術的發展，無線區域網路的規格由單輸入單輸出(single-input single-output, SISO)模式的 802.11a/b/g 演進到多輸入多輸出(multi-input multi-output, MIMO)模式的 802.11n，以滿足更高速的資料傳輸需求。MIMO 技術使用多根傳送天線及多根接收天線以分別傳送及接收訊號。相較於傳統 SISO 系統，MIMO 系統可於同一時間同一頻帶下同時提供多重平行資料流，進而提供倍數成長的資料傳輸量。

MIMO 系統必須有效利用空間上的等效正交特徵通道以於同一頻帶中傳送多重平行資料流。然而，空間上的等效正交特徵通道會隨著傳送天線及接收天線的幾何配置和元件特性，以及傳輸路徑的幾何及統計特性而呈現不同程度的衰退。因此，訊號偵測(signal detection)係為 MIMO 系統設計上的重要課題之一。一般而言，係提升訊號估測系統的複雜度，以降低接收訊號的錯誤率。

於現行的訊號估測方法中，最大相似度(Maximum Likelihood, ML)法則可提供最佳的接收性能，但卻會使得

訊號估測系統的複雜度過高，而導致硬體實作上的困難。因此，發展出球體解碼(sphere decoding)方法以接近最大相似度法則的接收性能，同時又具有適當的系統複雜度。於球體解碼方法中，廣度優先(breadth first)的 K-Best 球體解碼方法因具有固定處理量(throughput)及固定複雜度，故非常適合於硬體實作。

對於 K-Best 球體解碼方法而言，其接收性能的高低決定於 K 值的選擇。若 K 值愈大，則訊號接收性能愈高，但會導致系統複雜度增加。若 K 值愈小，則系統複雜度降低，但訊號接收性能會變低。因此，K-Best 球體解碼方法必須在系統複雜度和接收性能之間做取捨以決定 K 值。此外，K-Best 球體解碼方法中，每一估測層(detection layer)包括 M 個星狀點，M 為正整數。K-Best 球體解碼方法於每一估測層承接來自前一估測層之 K 個較佳點，並且必須先計算 KM 個部份歐氏距離(partial Euclidean distance)，再經由排序(sorting)求得目前估測層之 K 個較佳點來傳遞到下一估測層。

若經由 MIMO 通道所傳送之訊號數目為 T，T 為正整數，則 K-Best 球體解碼方法於複數域(complex domain)下對應至 T 個估測層，且 K-Best 球體解碼方法總共須計算  $M+(T-2)KM+K$  次歐氏距離，並於每一估測層進行一次排序的動作。然而，當 MIMO 通道的衰退情況較嚴重或正交特徵不足時，對於高階的 MIMO 系統而言，必須提高 K 值以提升系統的訊號接收性能。如此一來，卻會導致系統

的複雜度以 $(T-2)M$ 的比例遽增，使得晶片處理器的面積變大、耗能增加及資料處理量下降。

### 【發明內容】

本發明係有關於一種應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法，基於SE列舉法，從每一估測層之部份星狀點中，以鏈結的方式得到相對應之較佳點，降低球體解碼方法之估測複雜度。

根據本發明之第一方面，提出一種應用於多輸入多輸出(MIMO)通道之球體解碼方法。依據MIMO通道矩陣所對應至一第 $n$ 估測層，以一系列法排列第 $n$ 估測層的複數個星狀點，並定義第 $n$ 估測層的至少一第 $n$ 子集合。依據部份歐氏距離(PED)從第 $n$ 子集合中取出最小PED的星狀點為較佳點。依據較佳點選擇該第 $n$ 子集合以外第 $n$ 估測層的另一星狀點以取代較佳點成為該第 $n$ 子集合的一員。若需尋找其它較佳點，則重複依據最小PED並更新第 $n$ 子集合。依據第 $n$ 估測層的 $K_n$ 個較佳點決定一最佳解， $K_n$ 為正整數。

為讓本發明之上述內容能更明顯易懂，下文特舉一較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下：

### 【實施方式】

本發明係提出一種應用於多輸入多輸出(MIMO)通道之球體解碼方法，分別於複數域及實數域(real domain)

中，基於 SE(Schnorr & Euchner)列舉法，從每一估測層之部份星狀點(constellation point)中，以鏈結(linking)的方式依序得到相對應於此估測層之  $K$  個較佳點，降低球體解碼方法之估測複雜度。

請參照第 1 圖，其繪示依照本發明較佳實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。於步驟 S100 中，依據 MIMO 通道矩陣所對應至一第  $n$  估測層，以一系列舉法排列第  $n$  估測層的複數個星狀點，並定義第  $n$  估測層的至少一第  $n$  子集合。其中，此列舉法例如為 SE 列舉法。於步驟 S110 中，依據部份歐氏距離(PED)從第  $n$  子集合中取出最小 PED 的星狀點為較佳點。於步驟 S120 中，依據較佳點選擇該第  $n$  子集合以外第  $n$  估測層的另一星狀點以取代較佳點成為該第  $n$  子集合的一員。於步驟 S130 中，若需尋找其它較佳點，則重複依據最小 PED 並更新第  $n$  子集合。於步驟 S140 中，依據第  $n$  估測層的  $K_n$  個較佳點決定一最佳解， $K_n$  為正整數。其中，第  $n$  估測層的較佳點數目  $K_n$  係依據 MIMO 通道矩陣特性所決定。

接下來茲舉上述之球體解碼方法分別應用於複數域及實數域為例做說明。

### 第一實施例

本實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法係應用於複數域中，其包括下列步驟：a.接收經由 MIMO 通道所傳送之  $T$  個訊號， $T$  為正整數，MIMO 通道以一通道矩

陣為特徵；b.產生對應至通道矩陣之一三角矩陣，三角矩陣對應至一第一估測層至一第  $T$  估測層，其中每一估測層包括  $M$  個星狀點， $M$  為正整數；c.求得對應至第一估測層之一第一逼零軟輸出(zero-forcing soft-output)解，並基於 SE 列舉法得到一第一集合，第一集合具有第一估測層之多個第一星狀點，從第一集合中取出一第  $i$  個較佳點  $P(1)$ ，並依據第  $i$  個較佳點  $P(1)$ ，將第一集合之外之另一第一星狀點納入該第一集合， $i$  為  $1 \sim K$  之正整數；d.依據一第  $(n-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n-1)$ ，得到對應至一第  $n$  估測層之  $K$  個第  $n$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法得到分別對應至  $K$  個第  $n$  逼零軟輸出解之  $K$  個第  $n$  子集合， $K$  個第  $n$  子集合係各自具有第  $n$  估測層之多個第  $n$  星狀點，依據  $K$  個第  $n$  子集合得到一第  $n$  集合，從第  $n$  集合中取出一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，並依據第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，更新至少  $K$  個子集合之一，並將  $K$  個第  $n$  子集合中之一個第  $n$  星狀點納入第  $n$  集合， $n$  為  $2 \sim (T-1)$  之正整數；以及 e.依據第  $(T-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(T-1)$ ，得到對應至第  $T$  估測層之  $K$  個第  $T$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，得到第  $T$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(T)$ ，且依據  $K$  個較佳點  $P(T)$  中對應至最小部份歐氏距離(partial Euclidean distance, PED)者，產生對應至  $T$  個訊號之一最佳解。

茲更進一步詳細說明如下。請參照第 2 圖，其繪示依照本發明第一實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。首先，於步驟 S200 中，接收經由一 MIMO

通道所傳送之  $T$  個訊號，此 MIMO 通道以一通道矩陣為特徵。較佳地，係利用  $R'$  根接收天線經由 MIMO 通道接收  $T$  根傳送天線所輸出之  $T$  個訊號， $R'$  為正整數。此通道矩陣係一  $R' \times T$  通道矩陣  $H$ 。以時域或頻域表示之 MIMO 系統可定義如下：

$$r = Hx + n \quad (1)$$

其中， $R' \times 1$  之矩陣  $r$  代表  $R'$  根接收天線所接收的訊號， $T \times 1$  之矩陣  $x$  代表  $T$  根傳送天線所輸出之訊號， $R' \times 1$  之矩陣  $n$  代表雜訊。

接著，於步驟 S210 中，對通道矩陣  $H$  執行一 Q-R 分解以產生一三角矩陣，此三角矩陣對應至一第一估測層至一第  $T$  估測層。較佳地，第一估測層~第  $T$  估測層分別對應至三角矩陣中，矩陣元素為零之元素個數最多、次多、...、最少的一系列元素。藉由上述之 Q-R 分解可得：

$$H = QR$$

其中， $Q$  為一  $R' \times T$  之矩陣，而  $R$  為一  $T \times T$  之三角矩陣。此三角矩陣  $R$  例如為一上三角矩陣，但並不限於此。於步驟 S210 之後，根據等式(1)可以得到此 MIMO 系統的另一等式如下：

$$y = Q^H r = Rx + Q^H n \quad (2)$$

其中， $Q^H$  與  $Q$  之乘積為單位矩陣  $I$ 。若將等式(2)之雜訊項  $Q^H n$  忽略，且三角矩陣  $R$  例如為上三角矩陣時，則等式(2)可以矩陣形式展開如下：

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1T} \\ 0 & r_{22} & r_{23} & \ddots & r_{2T} \\ 0 & 0 & r_{33} & \ddots & r_{3T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{TT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_T \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中， $y_p$  及  $r_{pq}$  均為已知， $p$  為  $1 \sim T$  之正整數， $q$  為  $1 \sim T$  之正整數。本實施例將藉由已知之  $y_p$  及  $r_{pq}$  之值，求出  $x_1 \sim x_T$  之最佳解。

於等式(3)中，對應到  $x_T$  的方程式  $y_T = r_{TT}x_T$  係被定義為第一估測層，對應到  $x_{T-1}, \dots, x_2$  的方程式係依序被定義為第二估測層~第(T-1)估測層，對應到  $x_1$  的方程式  $y_1 = r_{1T}x_T + \dots + r_{11}x_1$  係被定義為第 T 估測層。其中，每一估測層包括 M 個星狀點，M 為正整數。

請參照第 3 圖，其繪示球體解碼方法之一估測層之星狀圖。於第 3 圖中，係以每一估測層包括 64 個星狀點(以空心點表示)為例做說明，但並不限於此。K-Best 球體解碼方法對應於每一估測層產生 K 個較佳點，且 K 小於 M。然並不限於此，本發明第一實施例所揭露之球體解碼方法雖僅以對應於每一估測層產生 K 個較佳點為例做說明，但實質上對應於每一估測層可產生不同數目之較佳點。第 n 估測層的較佳點數目  $K_n$  實質上可依據 MIMO 通道矩陣特性決定。

然後，於步驟 S220 中，求得對應至第一估測層之  $x_T$  之一第一逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法得到一第一集合  $\Omega_1$ ，第一集合  $\Omega_1$  具有第一估測層之多個第一星狀點，從第一集合  $\Omega_1$  中取出一第 i 個較佳點 P(1)，並依據第 i 個較佳

點  $P(1)$ ，將第一集合之外之另一第一星狀點納入第一集合  $\Omega_1$ ， $i$  為  $1 \sim K$  之正整數。其中，對應於第一估測層，係解  $y_T = r_{TT}x_T$  而求得  $x_T$  之第一逼零軟輸出解  $y_T/r_{TT}$ ， $x_T$  之第一逼零軟輸出解之實部及虛部都可能帶有浮點數，例如為第 3 圖中之點  $Z(1.4, 2.3)$ 。而以下的步驟中，將找出  $Z$  點附近之  $K$  個星狀點以作為  $K$  個較佳點。

上述之 SE 列舉法係依據與一目標值間之一維的距離 (實部軸的距離或是虛部軸的距離)，由小至大依序列舉出此目標值附近之整數值。舉  $Z$  點之實部之數值 1.4 作為目標值為例，則基於 SE 列舉法可依序得到距離此目標值由近至遠之實部軸之值  $1, 3, -1, 5, -3, 7, -5, \dots$  等整數值。由於 SE 列舉法的演算法很簡單，故可有效地降低系統運算量。其中，第 3 圖之座標圖中，實部軸與虛部軸分別代表 MIMO 系統之 QAM 調變中，兩個正交之載波的振幅大小。

步驟 S220 實質上係以 SE 列舉法排列第一估測層的多個星狀點，並定義第一估測層的一第一集合。其中，第一集合所包括的星狀點候選範圍由實部軸候選範圍  $\sqrt{M}$  及虛部軸候選範圍  $\sqrt{M}$  所訂定。於步驟 S220 中，對於  $x_T$  之第一逼零軟輸出解，基於 SE 列舉法依序得到  $\sqrt{M}$  個實部候選值及  $\sqrt{M}$  個虛部候選值，並令此  $\sqrt{M}$  個虛部候選值為  $\sqrt{M}$  個第一候選值，此  $\sqrt{M}$  個實部候選值為  $\sqrt{M}$  個第二候選值，或是令此  $\sqrt{M}$  個實部候選值為  $\sqrt{M}$  個第一候選值，此  $\sqrt{M}$  個虛部候選值為  $\sqrt{M}$  個第二候選值，並不作限制。其中，基於 SE 列舉法得到之  $\sqrt{M}$  個第一候選值係依序為一第一第一候選值

至一第  $\sqrt{M}$  個第一候選值。接著，取對應至第一第一候選值及此  $\sqrt{M}$  個第二候選值之多個第一星狀點為一第一集合  $\Omega_1$ 。然後，令此第一集合  $\Omega_1$  內之多個第一星狀點之值為  $x_T$  分別代入  $r_{TT}x_T$ ，並將所得到的結果分別定義為  $y'_T$ 。如此，各個第一星狀點所對應之 PED 係為對應之  $(y'_T - y_T)^2$  的平方根值。

令  $i$  之值為 1。從第一集合  $\Omega_1$  中取出一第  $i$  個較佳點  $P(1)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(1)$  之 PED 小於第一集合  $\Omega_1$  中其他之第一星狀點之任一個所對應之 PED，並將對應至第  $i$  個較佳點  $P(1)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值、及第  $i$  個較佳點  $P(1)$  所對應之第二候選值之第一星狀點，納入第一集合  $\Omega_1$  中。當  $i$  值小於等於  $(K-1)$  時，將  $i$  值加 1 並重複上述步驟。如此一來，第 1 個較佳點  $P(1)$ ~第  $K$  個較佳點  $P(1)$  係以鏈結的方式依序產生。於是，於第一估測層中僅需計算  $(\sqrt{M}+K-1)$  次 PED，而不須計算多達  $M$  次 PED 即可找到第一估測層之  $K$  個較佳點  $P(1)$ ，使得系統之複雜度降低。

再來，相對應於第二估測層~第  $(T-1)$  估測層而言，於步驟 S230 中，依據一第  $(n-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n-1)$ ，得到對應至一第  $n$  估測層之  $K$  個  $x_{T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法得到分別對應至  $K$  個第  $n$  逼零軟輸出解之  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$ ，此  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$  係各自具有第  $n$  估測層之多個第  $n$  星狀點。依據此  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$  得到一第  $n$  集合  $\Omega_n$ ，從第  $n$

集合  $\Omega_n$  中取出一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，並依據第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，更新至少  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$  之一，並將  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$  中之一個第  $n$  星狀點納入第  $n$  集合  $\Omega_n$ ， $n$  為  $2 \sim (T-1)$  之正整數。

於步驟 S230 中，先對第二估測層進行處理，此時  $n$  值為 2。當  $n$  之值為 2 時，依據第一估測層之  $K$  個較佳點  $P(1)$ ，解  $y_{T-1} = r_{(T-1)T}x_T + r_{(T-1)(T-1)}x_{T-1}$  而得到對應至第二估測層之  $K$  個  $x_{T-1}$  之第二逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，對於  $K$  個  $x_{T-1}$  之第二逼零軟輸出解各自得到  $\sqrt{M}$  個第一候選值及  $\sqrt{M}$  個第二候選值，並分別取對應至  $K$  個第一第一候選值、及多個第二候選值之多個第二星狀點為  $K$  個第二子集合  $\omega_{2,1} \sim \omega_{2,K}$ 。然後，從每一個第二子集合  $\omega_{2,1} \sim \omega_{2,K}$  之  $\sqrt{M}$  個第二星狀點中各自取出至少一個具有較小 PED 之第二星狀點，以得到第二集合  $\Omega_2$ 。接著，分別令第二集合  $\Omega_2$  內之多個第二星狀點之值為  $x_{T-1}$ ，將其與相對應之較佳點  $P(1)$  之值代入  $r_{(T-1)T}x_T + r_{(T-1)(T-1)}x_{T-1}$ ，並將所得到的結果定義為  $y'_{T-1}$ 。如此，各個第二星狀點所對應之 PED 係為對應之

$(y'_T - y_T)^2 + (y'_{T-1} - y_{T-1})^2$  的平方根值。

令  $i$  之值為 1。從第二集合  $\Omega_2$  中得到一第  $i$  個較佳點  $P(2)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(2)$  之 PED 小於第二集合  $\Omega_2$  中其他之第二星狀點之任一個所對應之 PED，並依據第  $i$  個較佳點  $P(2)$  所對應之第二子集合，將對應至第  $i$  個較佳點  $P(2)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值、及第  $i$  個較佳點  $P(2)$  所對應之第二候選值之第二星狀點納入第  $i$  個較佳點  $P(2)$

所對應之第二子集中。然後從此第二子集合之多個第二星狀點中取出具有較小 PED 者納入第二集合  $\Omega_2$ 。當  $i$  值小於等於  $(K-1)$  時，將  $i$  值加 1 並重複上述步驟。如此一來，第 1 個較佳點  $P(2)$ ~第  $K$  個較佳點  $P(2)$  係以鏈結的方式依序產生。

當  $n$  值小於等於  $(T-2)$  時，將  $n$  值加 1。接著，進行第三估測層至第  $(T-1)$  估測層之處理，此時  $n$  值分別等於 3 至  $(T-1)$ 。首先，依據第  $(n-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n-1)$ ，解  $y_{T-n+1} = r_{(T-n+1)T}x_T + \dots + r_{(T-n+1)(T-n+1)}x_{T-n+1}$  而得到對應至第  $n$  估測層之  $K$  個  $x_{T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，各個  $x_{T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解各自對應至  $\sqrt{M}$  個第一候選值及  $\sqrt{M}$  個第二候選值。並分別取對應至  $K$  個第一第一候選值、及多個第二候選值之多個第  $n$  星狀點為  $K$  個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$ 。然後，從每一個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,K}$  之  $\sqrt{M}$  個第  $n$  星狀點中各自取出至少一個具有較小 PED 之第  $n$  星狀點，以得到第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。其中，各個第  $n$  星狀點所對應之 PED 係為對應之  $(y'_T - y_T)^2 + (y'_{T-1} - y_{T-1})^2 + \dots + (y'_{T-n+1} - y_{T-n+1})^2$  的平方根值。

令  $i$  之值為 1。從第  $n$  集合  $\Omega_n$  中得到一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(n)$  之 PED 小於第  $n$  集合  $\Omega_n$  中其他之第  $n$  星狀點之任一個所對應之 PED，並依據第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第  $n$  子集合，將對應至第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值、及第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第二候選值之第  $n$  星狀點納入第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第  $n$  子集合中。然後，從此第  $n$  子集合之多個第

n 星狀點中取出具有較小 PED 者納入第 n 集合  $\Omega_n$ 。較佳地作法為，將具有最小之 PED 之第 n 星狀點納入第 n 集合  $\Omega_n$ 。當 i 值小於等於 (K-1) 時，將 i 值加 1 並重複上述步驟。如此一來，第 1 個較佳點 P(n)~第 K 個較佳點 P(n) 係以鏈結的方式依序產生。於是，於第 n 估測層中僅需計算  $(K\sqrt{M}+K-1)$  次 PED，而不須計算多達 KM 次 PED 即可找到第 n 估測層之 K 個較佳點 P(n)，使得系統之複雜度降低。

之後，於步驟 S240 中，依據第 (T-1) 估測層之 K 個較佳點 P(T-1)，解  $y_1 = r_{1T}x_T + \dots + r_{11}x_1$  而得到對應至第 T 估測層之 K 個  $x_1$  之第 T 逼零軟輸出解。並基於 SE 列舉法，得到第 T 估測層之 K 個較佳點 P(T)，且依據 K 個較佳點 P(T) 中對應至最小 PED 者，產生對應至 T 個訊號之一最佳解，亦即是矩陣 x 之最佳解。其中，此 K 個較佳點 P(T) 中，各自對應之 PED 係為對應之  $(y'_T - y_T)^2 + (y'_{T-1} - y_{T-1})^2 + \dots + (y'_1 - y_1)^2$  之平方根值。如此一來，於第 T 估測層中僅需計算 K 次 PED，而不須計算多達 M 次 PED 即可找到第 T 估測層之 K 個較佳點 P(T)，使得系統之複雜度降低。

茲舉 M 為 64 及 K 為 10，且令每一逼零軟輸出解之虛部候選值為第一候選值，每一逼零軟輸出解之實部候選值為第二候選值為例做說明，然並不限於此。請參照第 4 圖，其繪示依照本發明第一實施例之對應至第一估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。於第 4 圖中，對於  $x_T$  之第一逼零軟輸出解，基於 SE 列舉法得到 8 個第一候選值  $u_1 \sim u_8$  及 8 個第二候選值  $v_1 \sim v_8$ ，其中，對應至第一第一候

選值  $u_1$  及 8 個第二候選值  $v_1 \sim v_8$  之 8 個第一星狀點係為第一集合  $\Omega_1$ 。若  $x_T$  之第一逼零軟輸解為第 4 圖之點  $Z(1.4, 2.3)$  時，則 8 個第一候選值分別為虛部軸上距離  $Z$  點之虛部值 2.3 最近的 8 個虛部值，例如是 3、1、5、-1、7、-3、9 及 -5。而 8 個第二候選值分別為實部軸上距離  $Z$  點之實部值 1.4 最近的 8 個實部值，例如是 1、3、-1、5、-3、7、-5 及 9。

從第一集合  $\Omega_1$  之 8 個第一星狀點中取出一第一個較佳點  $P(1)$ ，此第一個較佳點  $P(1)$  的求法為，找出 PED 為最小之第一星狀點，此第一星狀點即為第一個較佳點  $P(1)$ 。如此，此第一個較佳點  $P(1)$  之 PED 小於第一集合  $\Omega_1$  中其他之第一星狀點之任一個所對應之 PED。亦即，分別令  $x_T$  等於此 8 個星狀點，並分別求出  $r_{TT}x_T$ ，並將所得到的結果分別定義為  $y'_T$ 。然後，此 8 個第一星狀點所對應之 PED ( $(y'_T - y_T)^2$  的平方根值) 為最小者被取出為第一個較佳點  $P(1)$ 。此第一個較佳點  $P(1)$  例如是位置 402 所對應之第一星狀點，其所對應之第一候選值為  $u_1$ ，所對應之第二候選值為  $v_7$ 。然後利用一指標 (pointer)  $t$  指向第二候選值  $v_7$ ，並將對應至第二候選值  $v_7$  及第一候選值  $u_1$  之下一第一候選值  $u_2$  之第一星狀點，亦即位置 404 所對應之第一星狀點，納入第一集合  $\Omega_1$ 。

再來，從第一集合  $\Omega_1$  之 8 個第一星狀點中取出一第二個較佳點  $P(1)$ ，此第二個較佳點  $P(1)$  之 PED 小於第一集合  $\Omega_1$  中其他之第一星狀點之任一個所對應之 PED。此第二

個較佳點  $P(1)$  所對應之第一候選值例如為  $u_1$ ，且所對應之第二候選值例如為  $v_3$ ，亦即為位置 406 所對應之第一星狀點。然後利用指標  $t$  指向第二候選值  $v_3$ ，並將對應至第二候選值  $v_3$  及第一候選值  $u_1$  之下一第一候選值  $u_2$  之第一星狀點，亦即位置 408 所對應之第一星狀點，納入第一集合  $\Omega_1$ 。如此重覆之後，即可以鏈結的方式依序得到第一估測層之 10 個較佳點  $P(1)$ 。第一估測層之 10 個較佳點  $P(1)$ ，假設此 10 個較佳點  $P(1)$  為  $A1$ 、 $B1$ 、... 及  $J1$ 。

此 10 個較佳點  $P(1)$  係被傳遞至第二估測層。請參照第 5 圖，其繪示依照本發明第一實施例之對應至第二估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。於第 5 圖中，承接來自第一估測層之 10 個較佳點  $P(1)$ ，亦即  $A1$ 、 $B1$ 、... 及  $J1$ ，分別令  $x_T$  等於  $A1$ 、 $B1$ 、... 及  $J1$  代入  $y_{T-1} = r_{(T-1)T}x_T + r_{(T-1)(T-1)}x_{T-1}$  中，以分別求得對應至  $A1$ 、 $B1$ 、... 及  $J1$  之第二估測層之 10 個  $x_{T-1}$  的第二逼零軟輸出解。然後，基於 SE 列舉法，對應於 10 個  $x_{T-1}$  之第二逼零軟輸出解，各自得到 8 個第一候選值及 8 個第二候選值。其中，基於 SE 列舉法得到之 8 個第一候選值係依序為一第一第一候選值至一第八第一候選值。接著，分別取對應至 10 個第一第一候選值  $u_{1,1} \sim u_{10,1}$ 、及多個第二候選值之多個第二星狀點為 10 個第二子集合  $\omega_{2,1} \sim \omega_{2,10}$ 。然後，從每一個第二子集合之多個第二星狀點中各自取出一個具有較小 PED 者，以得到第二集合  $\Omega_2$ 。

於第 5 圖中，相對於較佳點  $A1$ ，從第二子集合  $\omega_{2,1}$

內對應至第一第一候選值  $u_{1,1}$  及第二候選值  $v_{1,1} \sim v_{1,8}$  之 8 個第二星狀點中，找到 PED 較小之第二星狀點，例如為位置 502 所對應之第二星狀點，並將此第二星狀點納入第二集合  $\Omega_2$  之位置 502' 中。其中，PED 的算法為，分別令  $x_{T-1}$  等於第二子集合  $\omega_{2,1}$  內之所有第二星狀點，代入式子

$r_{(T-1)T}x_T + r_{(T-1)(T-1)}x_{T-1}$  中，所得到的值定義為  $y'_{T-1}$ ，然後，由  $x_T = A1$  時所對應之  $y'_T (= r_{TT}x_T)$ ，計算  $(y'_T - y_T)^2 + (y'_{T-1} - y_{T-1})^2$  的平方根值，此結果即為第二子集合  $\omega_{2,1}$  內之各個第二星狀點之 PED。

相對應於較佳點 B1，從第二子集合  $\omega_{2,1}$  內對應至第一第一候選值  $u_{2,1}$  及第二候選值  $v_{2,1} \sim v_{2,8}$  之 8 個第二星狀點中找到 PED 最小之第二星狀點，例如為位置 504 所對應之第二星狀點，並將此第二星狀點納入第二集合  $\Omega_2$  之位置 504' 中。同理，相對應於較佳點 J1，從第二子集合  $\omega_{2,10}$  內對應至第一第一候選值  $u_{10,1}$  及第二候選值  $v_{10,1} \sim v_{10,8}$  之 8 個第二星狀點中找到 PED 最小之第二星狀點，例如為位置 506 所對應之第二星狀點，並將此第二星狀點納入第二集合  $\Omega_2$  之位置 506' 中。

從第二集合  $\Omega_2$  之 8 個第二星狀點中得到第一個較佳點 P(2)，此第一個較佳點 P(2) 為 PED 值為最小者，亦即此第一個較佳點 P(2) 之 PED 小於第二集合  $\Omega_2$  中其他之第二星狀點之任一個所對應之 PED。此第一個較佳點 P(2) 例如是位置 504' 所對應之第二星狀點，其來自於第二子集合  $\omega_{2,2}$ ，且其所對應之第一候選值為  $u_{2,1}$ ，所對應之第二候選值為  $v_{2,4}$ 。依據此第一個較佳點 P(2) 所對應之第二子集合

$\omega_{2,2}$ ，利用一指標  $t$  指向第二候選值  $v_{2,4}$ ，並將對應至第二候選值  $v_{2,4}$  及第一候選值  $u_{2,1}$  之下一第一候選值  $u_{2,2}$  之第二星狀點，亦即位置 508 所對應之第二星狀點，納入第二子集合  $\omega_{2,2}$  中。然後從第二子集合  $\omega_{2,2}$  中之多個第二星狀點中取出具有最小 PED 者，納入第二集合  $\Omega_2$  之位置 504' 中。如此重覆之後，即可以鏈結的方式依序得到第二估測層之 10 個較佳點  $P(2)$ 。

當  $n$  值小於等於  $(T-2)$  時，將  $n$  值加 1。如此一來，對應於第  $n$  估測層，同理地，承接來自第  $(n-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(n-1)$ ，亦即  $A(n-1)$ 、 $B(n-1)$ 、... 及  $J(n-1)$ ，得到對應至第  $n$  估測層之 10 個  $x_{T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解。並基於 SE 列舉法，各個第  $n$  逼零軟輸出解各自對應至 8 個第一候選值及 8 個第二候選值。其中，基於 SE 列舉法得到之 8 個第一候選值係依序為一第一第一候選值至一第八第一候選值。接著，分別取對應至 10 個第一第一候選值  $u_{1,1} \sim u_{10,1}$ 、及多個第二候選值之多個第  $n$  星狀點為 10 個第  $n$  子集合  $\omega_{n,1} \sim \omega_{n,10}$ 。然後，從每一個第  $n$  子集合之多個第  $n$  星狀點中各自取出至少一具有最小 PED 者，以得到第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。

從第  $n$  集合  $\Omega_n$  中得到一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(n)$  之 PED 小於第  $n$  集合  $\Omega_n$  中其他之第  $n$  星狀點之任一個所對應之 PED，並依據第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第  $n$  子集合，將對應至第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值、及第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第

二候選值之第  $n$  星狀點納入第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第  $n$  子集合中。然後從此第  $n$  子集合之多個第  $n$  星狀點中取出具有較小 PED 者納入第  $n$  集合  $\Omega_n$ ,  $i$  為  $1\sim 10$  之正整數。如此一來, 第 1 個較佳點  $P(n)\sim$  第 10 個較佳點  $P(n)$  係以鏈結的方式依序產生。其中, 第  $(T-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(T-1)$  係被傳遞至第  $T$  估測層。

請參照第 6 圖, 其繪示依照本發明第一實施例之對應至第  $T$  估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。於第 6 圖中, 承接來自第  $(T-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(T-1)$ , 代入解  $y_1 = r_{1T}x_T + \dots + r_{11}x_1$  而得到對應至第  $T$  估測層之 10 個  $x_1$  之第  $T$  逼零軟輸出解。基於 SE 列舉法, 對於 10 個  $x_1$  之第  $T$  逼零軟輸出解各自得到 1 個第一候選值及 1 個第二候選值。此些第一候選值及第二候選值對應至 10 個第  $T$  星狀點, 此 10 個第  $T$  星狀點即為第  $T$  估測層之 10 個較佳點  $P(T)$ 。此 10 個較佳點  $P(T)$  中對應至最小 PED 者, 即為對應至  $T$  個訊號之最佳解。

本發明第一實施例所揭露之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法, 於複數域中, 基於 SE 列舉法, 從每一估測層之部份星狀點中, 以鏈結的方式依序得到相對應此估測層之  $K$  個較佳點。如此一來, 僅需計算部份星狀點所對應之 PED 即可以得到  $T$  個訊號之一最佳解, 而不需計算全部星狀點所對應之 PED, 大幅降低球體解碼方法之估測複雜度, 並大幅降低運算所需要的時間, 故可根據接收端之  $R'$  個接收天線所接收到的  $R'$  個接收訊號, 快速地解出傳送

端之  $T$  根傳送天線輸出之  $T$  個訊號之值。因此使用本實施例之 MIMO 通道之球體解碼方法之接收端可以具有高效能之訊號傳輸與訊號解碼，並降低系統之硬體複雜度且減少晶片面積的優點。

## 第二實施例

本實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法，包括下列步驟：a.接收經由 MIMO 通道所傳送之  $T$  個訊號， $T$  為正整數，MIMO 通道以一通道矩陣為特徵；b.將通道矩陣以一實數形式展開並產生對應之一三角矩陣，三角矩陣對應至一第一估測層至一第  $2T$  估測層，其中每一估測層包括  $M$  個星狀點， $M$  為正整數；c.求得對應至第一估測層之一第一逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，得到第一估測層之  $K$  個較佳點  $P(1)$ ， $K$  為正整數；d.依據第  $(n-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n-1)$ ，得到對應至一第  $n$  估測層之  $K$  個第  $n$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法得到一第  $n$  集合，第  $n$  集合具有第  $n$  估測層之多個第  $n$  星狀點，從第  $n$  集合中取出一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，並依據第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，將第  $n$  集合之外之另一第  $n$  星狀點納入第  $n$  集合， $i$  為  $1 \sim K$  之正整數， $n$  為  $2 \sim (2T-1)$  之正整數；以及 e.依據第  $(2T-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(2T-1)$ ，得到對應至第  $2T$  估測層之  $K$  個第  $2T$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，得到第  $2T$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(2T)$ ，且依據  $K$  個較佳點  $P(2T)$  中對應至最小部份歐氏距離 (PED) 者，產生對應至  $T$  個訊號之一最佳解。

茲更進一步詳細說明如下。請參照第 7 圖，其繪示依照本發明第二實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。首先，於步驟 S700 中，接收經由一 MIMO 通道所傳送之  $T$  個訊號，此 MIMO 通道以一通道矩陣為特徵。較佳地，係利用  $R'$  根接收天線經由 MIMO 通道接收  $T$  根傳送天線所輸出之  $T$  個訊號， $R'$  為正整數。此通道矩陣係一  $R' \times T$  通道矩陣  $H$ 。以時域或頻域表示之 MIMO 系統的等式如式(1)之定義為：

$$r = Hx + n$$

其中， $R' \times 1$  之矩陣  $r$  代表  $R'$  根接收天線所接收的訊號， $T \times 1$  之矩陣  $x$  代表  $T$  根傳送天線所輸出之訊號， $R' \times 1$  之矩陣  $n$  代表雜訊。

接著，於步驟 S710 中，將通道矩陣  $H$  以一實數形式展開，並對以實數形式展開之通道矩陣  $H$  執行一 Q-R 分解以產生一三角矩陣，此三角矩陣對應至一第一估測層至一第  $2T$  估測層。較佳地，第一估測層~第  $2T$  估測層對應至三角矩陣中，矩陣元素為零之元素個數最多、次多、...、最少的一列元素。於步驟 S710 中，MIMO 系統的等式(1)實質上係轉換為如下：

$$r_R = H_R x_R + n_R \quad (4)$$

$$\text{其中， } r_R = \begin{bmatrix} \text{Re}(r) \\ \text{Im}(r) \end{bmatrix}, \quad x_R = \begin{bmatrix} \text{Re}(x) \\ \text{Im}(x) \end{bmatrix}, \quad n_R = \begin{bmatrix} \text{Re}(n) \\ \text{Im}(n) \end{bmatrix}, \quad H_R = \begin{bmatrix} \text{Re}(H) & -\text{Im}(H) \\ \text{Im}(H) & \text{Re}(H) \end{bmatrix}。$$

此外，藉由上述之 Q-R 分解可得：

$$H_R = Q_R R_R$$

其中  $Q_R$  為一  $2R' \times 2T$  矩陣，而  $R_R$  為一  $2T \times 2T$  之三角矩陣。此三角矩陣  $R_R$  例如為一上三角矩陣，但並不限於此。於步驟 S710 之後，根據等式(4)可以得到 MIMO 系統的另一等式如下：

$$y_R = Q_R^T r_R = R_R x_R + Q^T n_R \quad (5)$$

其中， $Q^T$  與  $Q$  之乘積為單位矩陣  $I$ 。若將等式(5)之雜訊項  $Q^T n_R$  忽略，且三角矩陣  $R_R$  例如為上三角矩陣時，則等式(5)可以矩陣形式展開如下：

$$\begin{bmatrix} \widetilde{y}_1 \\ \widetilde{y}_2 \\ \widetilde{y}_3 \\ \vdots \\ \widetilde{y}_{2T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widetilde{r}_{11} & \widetilde{r}_{12} & \widetilde{r}_{13} & \cdots & \widetilde{r}_{1(2T)} \\ 0 & \widetilde{r}_{22} & \widetilde{r}_{23} & \ddots & \widetilde{r}_{2(2T)} \\ 0 & 0 & \widetilde{r}_{33} & \ddots & \widetilde{r}_{3(2T)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \widetilde{r}_{(2T)(2T)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widetilde{x}_1 \\ \widetilde{x}_2 \\ \widetilde{x}_3 \\ \vdots \\ \widetilde{x}_{2T} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中， $\widetilde{y}_p$  及  $\widetilde{r}_{pq}$  均為已知， $p$  為  $1 \sim 2T$  之正整數， $q$  為  $1 \sim 2T$  之正整數。本實施例將藉由已知之  $\widetilde{y}_p$  及  $\widetilde{r}_{pq}$  之值，求出  $\widetilde{x}_1 \sim \widetilde{x}_{2T}$  之最佳解。

於等式(6)中，對應到  $\widetilde{x}_{2T}$  的方程式  $\widetilde{y}_{2T} = \widetilde{r}_{(2T)(2T)} \widetilde{x}_{2T}$  係被定義為第一估測層，對應到  $\widetilde{x}_{2T-1}$  的方程式  $\widetilde{y}_{2T-1} = \widetilde{r}_{(2T-1)(2T)} \widetilde{x}_{2T} + \widetilde{r}_{(2T-1)(2T-1)} \widetilde{x}_{2T-1}$  係被定義為第二估測層，對應到  $\widetilde{x}_{2T-2}, \dots, \widetilde{x}_2$  的方程式係依序被定義為第三估測層~第  $(2T-1)$  估測層，對應到  $\widetilde{x}_1$  的方程式  $\widetilde{y}_1 = \widetilde{r}_{1(2T)} \widetilde{x}_{2T} + \dots + \widetilde{r}_{11} \widetilde{x}_1$  係被定義為第  $2T$  估測層。其中，每一估測層包括  $\sqrt{M}$  個星狀點， $\sqrt{M}$  為正整數。K-Best 球體解碼方法對應於每一估測層產生  $K$  個較佳點，且  $K$  小於  $\sqrt{M}$ 。然並不限於此，本發明第二實施例所揭露之球體解碼方法雖僅以對應於每一估測層產生  $K$  個較佳點為例做說明，但實質上對應於每一估測層可產生不同數目之較佳點。

然後，於步驟 S720 中，求得對應至第一估測層之  $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，得到第一估測層之 K 個較佳點 P(1)。其中，對應於第一估測層，係解  $\widetilde{y}_{2T} = \widetilde{r}_{(2T \times 2T)} \widetilde{x}_{2T}$  而求得  $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解  $\widetilde{y}_{2T} / \widetilde{r}_{(2T \times 2T)}$ ， $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解可能帶有浮點數。上述之 SE 列舉法係依據與  $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解間之一維的距離，由小至大依序列舉出  $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解附近之 K 個整數值，此 K 個整數值即為 K 個較佳點 P(1)。其中，此 K 個較佳點 P(1) 中之任一個所對應之 PED 小於其他之第一星狀點中之任一個所對應之 PED。於第一估測層中實質上不須計算 PED 即可找到第一估測層之 K 個較佳點 P(1)，使得系統之複雜度降低。

接著，相對應於第二估測層~第(2T-1)估測層而言，於步驟 S730 中，依據第(n-1)估測層之 K 個較佳點 P(n-1)，得到對應至第 n 估測層之 K 個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第 n 逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法得到一第 n 集合  $\Omega_n$ ，第 n 集合  $\Omega_n$  具有第 n 估測層之多個第 n 星狀點，從第 n 集合  $\Omega_n$  中取出一第 i 個較佳點 P(n)，並依據第 i 個較佳點 P(n)，將第 n 集合  $\Omega_n$  之外之另一第 n 星狀點納入第 n 集合  $\Omega_n$ ，i 為 1~K 之正整數，n 為 2~(2T-1) 之正整數。

於步驟 S730 中，先對第二估測層進行處理，此時 n 值為 2。當 n 之值為 2 時，依據第一估測層之 K 個較佳點 P(1)，解  $\widetilde{y}_{2T-1} = \widetilde{r}_{(2T-1 \times 2T)} \widetilde{x}_{2T} + \widetilde{r}_{(2T-1 \times 2T-1)} \widetilde{x}_{2T-1}$  而得到對應至第二估測層之 K 個  $\widetilde{x}_{2T-1}$  之第二逼零軟輸出解，此 K 個  $\widetilde{x}_{2T-1}$  之第二逼零軟輸

出解各自對應至  $K$  個索引值(index)，並基於 SE 列舉法， $K$  個  $\widetilde{x}_{2T-1}$  之第二逼零軟輸出解各自對應至  $\sqrt{M}$  個第一候選值。其中，基於 SE 列舉法得到之  $\sqrt{M}$  個第一候選值係依序為一第一第一候選值至一第  $\sqrt{M}$  第一候選值。然後，取對應至  $K$  個第一第一候選值之  $K$  個第二星狀點為一第二集合  $\Omega_2$ 。

接著，分別令此些第二星狀點之值為  $\widetilde{x}_{2T-1}$ ，將其與相對應之較佳點  $P(1)$  之值代入  $\widetilde{r}_{(2T-1) \times 2T} x_{2T} + \widetilde{r}_{(2T-1) \times 2T-1} x_{2T-1}$ ，並將所得到的結果定義為  $\widetilde{y}'_{2T-1}$ 。如此，各個第二星狀點所對應之 PED 係為對應之  $(\widetilde{y}'_{2T} - \widetilde{y}_{2T})^2 + (\widetilde{y}'_{2T-1} - \widetilde{y}_{2T-1})^2$  的平方根值。令  $i$  之值為 1。然後，從第二集合  $\Omega_2$  中取出一第  $i$  個較佳點  $P(2)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(2)$  之 PED 小於第二集合  $\Omega_2$  中其他之第二星狀點之任一個所對應之 PED，並將對應至第  $i$  個較佳點  $P(2)$  所對應之索引值、及第  $i$  個較佳點  $P(2)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值之第二星狀點納入第二集合  $\Omega_2$ 。當  $i$  值小於等於  $(K-1)$  時，將  $i$  值加 1 並重複上述步驟。如此一來，第 1 個較佳點  $P(2)$ ~第  $K$  個較佳點  $P(2)$  係以鏈結的方式依序產生。

當  $n$  值小於等於  $(2T-2)$  時，將  $n$  值加 1。接著，進行第三估測層至第  $(2T-1)$  估測層之處理，此時  $n$  值分別等於 3 至  $(2T-1)$ 。首先，依據第  $(n-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n-1)$ ，解  $\widetilde{y}_{2T-n+1} = \widetilde{r}_{(2T-n+1) \times 2T} x_{2T} + \cdots + \widetilde{r}_{(2T-n+1) \times 2T-n+1} x_{2T-n+1}$  而得到對應至第  $n$  估測層之  $K$  個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解， $K$  個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解各自對應至  $K$  個索引值，並基於 SE 列舉法，各個

$\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解各自對應至  $\sqrt{M}$  個第一候選值。然後，取對應至  $K$  個第一第一候選值之  $K$  個第  $n$  星狀點為第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。其中，第  $n$  星狀點所對應之 PED 係為對應之  $(\widetilde{y}'_{2T} - \widetilde{y}_{2T})^2 + (\widetilde{y}'_{2T-1} - \widetilde{y}_{2T-1})^2 + \cdots + (\widetilde{y}'_{2T-n+1} - \widetilde{y}_{2T-n+1})^2$  的平方根值。

令  $i$  之值為 1。接著，從第  $n$  集合  $\Omega_n$  中取出一第  $i$  個較佳點  $P(n)$ ，第  $i$  個較佳點  $P(n)$  之 PED 小於第  $n$  集合  $\Omega_n$  中其他之第  $n$  星狀點之任一個所對應之 PED，並將對應至第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之索引值、及第  $i$  個較佳點  $P(n)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值之第  $n$  星狀點納入第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。當  $i$  值小於等於  $(K-1)$  時，將  $i$  值加 1 並重複上述步驟。如此一來，第 1 個較佳點  $P(n)$ ~第  $K$  個較佳點  $P(n)$  係以鏈結的方式依序產生。於是，於第  $n$  估測層中僅需計算  $(2K-1)$  次 PED，而不須計算多達  $KM$  次 PED 即可找到第  $n$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(n)$ ，使得系統之複雜度降低。

之後，於步驟 S740 中，依據第  $(2T-1)$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(2T-1)$ ，解  $\widetilde{y}_1 = \widetilde{r}_{1(2T)} \widetilde{x}_{2T} + \cdots + \widetilde{r}_{11} \widetilde{x}_1$  而得到對應至第  $2T$  估測層之  $K$  個  $\widetilde{x}_1$  之第  $2T$  逼零軟輸出解，並基於 SE 列舉法，得到第  $2T$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(2T)$ ，且依據  $K$  個較佳點  $P(2T)$  中對應至最小 PED 者，產生對應至  $T$  個訊號之一最佳解，亦即是矩陣  $x_R$  之最佳解。其中，此  $K$  個較佳點  $P(2T)$  中，各自對應之部份歐氏距離係為對應之  $(\widetilde{y}'_{2T} - \widetilde{y}_{2T})^2 + (\widetilde{y}'_{2T-1} - \widetilde{y}_{2T-1})^2 + \cdots + (\widetilde{y}'_1 - \widetilde{y}_1)^2$  之平方根值。如此一來，於第  $2T$  估測層中僅需計算  $K$  次 PED，而不須計算多達  $M$  次 PED 即可找到第  $2T$  估測層之  $K$  個較佳點  $P(T)$ ，使得系統

之複雜度降低。

茲舉  $M$  為 64 及  $K$  為 10 為例做說明，然並不限於此。對應於  $\widetilde{x}_{2T}$  之第一逼零軟輸出解，基於 SE 列舉法，不須計算 PED 即可得到第一估測層之  $K=10$  個較佳點  $P(1)$ ，並將此 10 個較佳點  $P(1)$  傳遞至第二估測層。此 10 個較佳點  $P(1)$  中之任一個所對應之 PED 小於其他之第一星狀點中之任一個所對應之 PED。

請參照第 8A~8C 圖，其繪示依照本發明第二實施例之對應至第  $n$  估測層之索引值對第一候選值之示意流程圖。於第 8A 圖中，承接來自第  $(n-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(n-1)$ ，代入  $\widetilde{y}_{2T-n+1} = \widetilde{r}_{(2T-n+1)(2T)} \widetilde{x}_{2T} + \cdots + \widetilde{r}_{(2T-n+1)(2T-n+1)} \widetilde{x}_{2T-n+1}$  中而得到對應至第  $n$  估測層之 10 個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解，此 10 個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解分別對應至 10 個索引值  $\text{ind}_1 \sim \text{ind}_{10}$ ，並基於 SE 列舉法，各個  $\widetilde{x}_{2T-n+1}$  之第  $n$  逼零軟輸出解各自對應至 8 個第一候選值。其中，基於 SE 列舉法得到之 8 個第一候選值係依序為一第一第一候選值至一第八第一候選值。然後，取對應至第一第一候選值之 10 個第  $n$  星狀點為第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。其中，第  $n$  星狀點所對應之 PED 係為對應之  $(\widetilde{y}'_{2T} - \widetilde{y}_{2T})^2 + (\widetilde{y}'_{2T-1} - \widetilde{y}_{2T-1})^2 + \cdots + (\widetilde{y}'_{2T-n+1} - \widetilde{y}_{2T-n+1})^2$  的平方根值。

從第  $n$  集合  $\Omega_n$  之 10 個第  $n$  星狀點中取出一第一個較佳點  $P(n)$ ，此第一個較佳點  $P(n)$  之 PED 小於第  $n$  集合  $\Omega_n$  中其他之第  $n$  星狀點之任一個所對應之 PED。此第一個較佳點  $P(n)$  例如是位置 802 所對應之第  $n$  星狀點，其所對應

之索引值為  $ind_9$ 。然後利用一指標  $t$  指向索引值  $ind_9$ ，並將對應至索引值  $ind_9$ 、及此第一個較佳點  $P(n)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值之第  $n$  星狀點，亦即位置 804 所對應之第  $n$  星狀點，納入第  $n$  集合  $\Omega_n$ ，其結果係如第 8B 圖所示。

再來，從第  $n$  集合  $\Omega_n$  之 8 個第  $n$  星狀點中取出一第二個較佳點  $P(n)$ ，此第二個較佳點  $P(n)$  之 PED 小於第  $n$  集合  $\Omega_n$  中其他之第  $n$  星狀點之任一個所對應之 PED。此第二個較佳點  $P(n)$  所對應之索引值例如為  $ind_3$ ，亦即為位置 806 所對應之第  $n$  星狀點，如第 8C 圖所示。然後利用指標  $t$  指向索引值  $ind_3$ ，並將對應至索引值  $ind_3$ 、及此第二個較佳點  $P(n)$  所對應之第一候選值之下一第一候選值之第  $n$  星狀點，亦即位置 808 所對應之第  $n$  星狀點，納入第  $n$  集合  $\Omega_n$ 。如此重覆之後，即可以鏈結的方式依序得到第  $n$  估測層之 10 個較佳點  $P(n)$ 。其中，第  $(2T-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(2T-1)$  係被傳遞至第  $2T$  估測層。

請參照第 9 圖，其繪示依照本發明第二實施例之對應至第  $2T$  估測層之索引值對第一候選值之示意圖。於第 8 圖中，承接來自第  $(2T-1)$  估測層之 10 個較佳點  $P(2T-1)$ ，代入解  $\tilde{y}_1 = \tilde{r}_{1(2T)} \tilde{x}_{2T} + \dots + \tilde{r}_{11} \tilde{x}_1$  而得到對應至第  $2T$  估測層之 10 個  $\tilde{x}_1$  之第  $2T$  逼零軟輸出解，各個  $\tilde{x}_1$  之第  $2T$  逼零軟輸出解分別對應至一索引值。基於 SE 列舉法，對於 10 個  $\tilde{x}_1$  之第  $2T$  逼零軟輸出解各自得到 1 個第一候選值。此些第一候選值對應至 10 個第  $2T$  星狀點，此 10 個第  $2T$  星狀點即為第

2T 估測層之 10 個較佳點  $P(2T)$ 。此 10 個較佳點  $P(2T)$  中對應至最小 PED 者，即為對應至 T 個訊號之最佳解。

本發明第二實施例所揭露之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法，於實數域中，基於 SE 列舉法，從每一估測層之部份星狀點中，以鏈結的方式依序得到相對應此估測層之 K 個較佳點。如此一來，僅需計算部份星狀點所對應之 PED 即可以得到 T 個訊號之一最佳解，而不需計算全部星狀點所對應之 PED。如此，可大幅降低球體解碼方法之估測複雜度，並大幅降低運算所需要的時間，故可根據接收端之 R' 個接收天線所接收到的 R' 個接收訊號，快速地解出傳送端之 T 根傳送天線輸出之 T 個訊號之值。因此，使用本實施例之 MIMO 通道之球體解碼方法之接收端可以具有高效能之訊號傳輸與訊號解碼，並降低系統之硬體複雜度且減少晶片面積的優點。

本發明上述實施例所揭露之應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法，分別於複數域及實數域中，基於 SE 列舉法，利用鏈結方式的處理法則，而得以從每一估測層之 M 個星狀點中，僅需計算部份星狀點所對應之 PED，即可依序得到每一估測層之 K 個較佳點。如此一來，不僅大幅降低球體解碼方法之估測複雜度，並大幅降低運算所需要的時間。

綜上所述，雖然本發明已以一較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明。本發明所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種

之更動與潤飾。因此，本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

### 【圖式簡單說明】

第 1 圖繪示依照本發明較佳實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。

第 2 圖繪示依照本發明第一實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。

第 3 圖繪示球體解碼方法之一估測層之星狀圖。

第 4 圖繪示依照本發明第一實施例之對應至第一估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。

第 5 圖繪示依照本發明第一實施例之對應至第二估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。

第 6 圖繪示依照本發明第一實施例之對應至第 T 估測層之第一候選值對第二候選值之示意圖。

第 7 圖繪示依照本發明第二實施例之應用於 MIMO 通道之球體解碼方法之流程圖。

請參照第 8A~8C 圖繪示依照本發明第二實施例之對應至第 n 估測層之索引值對第一候選值之示意流程圖。

請參照第 9 圖繪示依照本發明第二實施例之對應至第 2T 估測層之索引值對第一候選值之示意圖。

### 【主要元件符號說明】

402、404、406、408、502、504、506、508、502'、504'、506'、802、804、806、808：位置

S100~S140、S200~S240、S700~S740：流程步驟

**五、中文發明摘要：(中文案件名稱：應用於多輸入多輸出通道之球體解碼方法)**

一種應用於多輸入多輸出(MIMO)通道之球體解碼方法。依據 MIMO 通道矩陣所對應至一第  $n$  估測層，以一系列舉法排列第  $n$  估測層的複數個星狀點，並定義第  $n$  估測層的至少一第  $n$  子集合。依據部份歐氏距離(PED)從第  $n$  子集合中取出最小 PED 的星狀點為較佳點。依據較佳點選擇該第  $n$  子集合以外第  $n$  估測層的另一星狀點以取代較佳點成為該第  $n$  子集合的一員。若需尋找其它較佳點，則重複依據最小 PED 並更新第  $n$  子集合。依據第  $n$  估測層的  $K_n$  個較佳點決定一最佳解。

**六、英文發明摘要：(英文案件名稱：SPHERE DECODING METHOD APPLIED TO MIMO CHANNEL)**

**A sphere decoding method applied to a MIMO channel includes the following steps. Multiple constellation points of an  $n^{\text{th}}$  detection layer corresponding to the MIMO channel matrix are enumerated based on an enumeration rule, and at least one  $n^{\text{th}}$  sub-set of the  $n^{\text{th}}$  detection layer is defined. The constellation point with the least PED is obtained as a preferred point. Another constellation, not in the  $n^{\text{th}}$  sub-set, of the  $n^{\text{th}}$  detection layer is selected to substitute**

for the preferred point as one of the  $n^{\text{th}}$  sub-set. If other preferred points are needed to be found, the  $n^{\text{th}}$  sub-set is updated repeatedly according to the least PED. A best solution is determined according to  $K_n$  preferred points of the  $n^{\text{th}}$  detection layer.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

S100~S140：流程步驟

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

## 十、申請專利範圍：

1. 一種應用於多輸入多輸出(MIMO)通道之球體解碼方法，包括：

依據 MIMO 通道矩陣所對應至一第  $n$  估測層，以一系列舉法排列第  $n$  估測層的複數個星狀點，並定義第  $n$  估測層的至少一第  $n$  子集合；

依據部份歐氏距離(PED)從第  $n$  子集合中取出最小 PED 的星狀點為較佳點；

依據較佳點選擇該第  $n$  子集合以外第  $n$  估測層的另一星狀點以取代較佳點成為該第  $n$  子集合的一員；

若需尋找其它較佳點，則重複依據最小 PED 並更新第  $n$  子集合；以及

依據第  $n$  估測層的  $K_n$  個較佳點決定一最佳解， $K_n$  為正整數。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中用以取代較佳點成為第  $n$  子集合一員的另一星狀點，於該列舉法排列下係相鄰於較佳點但原不屬於第  $n$  子集合的一員。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中 MIMO 通道矩陣為複數域矩陣，該列舉法分別依實部軸以及虛部軸排列第  $n$  估測層的該些星狀點，其中之較佳點以及另一星狀點屬於同一實部軸或虛部軸。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中 MIMO 通道矩陣對應至第 1~第  $T$  估測層，第  $n$  估測層以及  $K_n$  分別對應至第 2~第  $(T-1)$  估測層以及  $K_2 \sim K_{(T-1)}$  的至少其中之

一，第 1 估測層傳遞  $K_1$  個較佳點至第 2 估測層，第 2 估測層傳遞  $K_2$  個較佳點至第 3 估測層，...，第  $(T-1)$  估測層傳遞  $K_{(T-1)}$  個較佳點至第  $T$  估測層，其中第  $n$  估測層依據第  $(n-1)$  估測層的  $K_{(n-1)}$  個較佳點以該列舉法得到  $K_{(n-1)}$  組星狀點排列方式，每一組星狀點排列方式分別對應至一組第  $n$  子集合，第  $n$  估測層分別依據每一組第  $n$  子集合一預定較佳點數目選取較佳點個數，再將  $K_n$  個較佳點傳遞至第  $(n+1)$  估測層。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中每一組第  $n$  子集合該預定較佳點數目係依據 MIMO 通道矩陣特性所決定。

6. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中第  $1, 2, \dots, T$  估測層係分別對應至 MIMO 通道矩陣經由 Q-R 分解後，零之元素最多、次多、...、最少的一列。

7. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中該最佳解為該第  $T$  估測層的  $K_T$  個較佳點當中 PED 值最小者。

8. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中每一估測層皆有  $M$  個星狀點， $M$  為正整數，該列舉法將每一組星狀點於同一實數軸排列  $\sqrt{M}$  個星狀點，於同一虛部軸排列  $\sqrt{M}$  個星狀點。

9. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中 MIMO 通道矩陣為實數域矩陣，該列舉法沿著一單一軸排列第  $n$  估測層的該些星狀點，其中之較佳點與另一星狀點於該單一軸上相鄰。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之方法，其中 MIMO 通道矩陣對應至第 1~第  $2T$  估測層，第  $n$  估測層以及  $K_n$  分別對應至第 2~第  $(2T-1)$  估測層以及  $K_2 \sim K_{(2T-1)}$  的至少其中之一，第 1 估測層傳遞  $K_1$  個較佳點至第 2 估測層，第 2 估測層傳遞  $K_2$  個較佳點至第 3 估測層，...，第  $(2T-1)$  估測層傳遞  $K_{(2T-1)}$  個較佳點至第  $2T$  估測層，其中第  $n$  估測層依據第  $(n-1)$  估測層的  $K_{(n-1)}$  個較佳點以該列舉法得到  $K_{(n-1)}$  組星狀點排列方式， $K_{(n-1)}$  組星狀點排列方式對應至一組第  $n$  子集合，第  $n$  估測層由該組第  $n$  子集合選取  $K_n$  個較佳點，再將  $K_n$  個較佳點傳遞至第  $(n+1)$  估測層。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中第  $1, 2, \dots, 2T$  估測層係對應至 MIMO 通道矩陣經由 Q-R 分解後，零之元素最多、次多、...、最少的一列。

12. 如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中第 1 估測層的  $K_1$  個較佳點取決於第 1 估測層最小 PED 解附近之  $K_1$  個解。

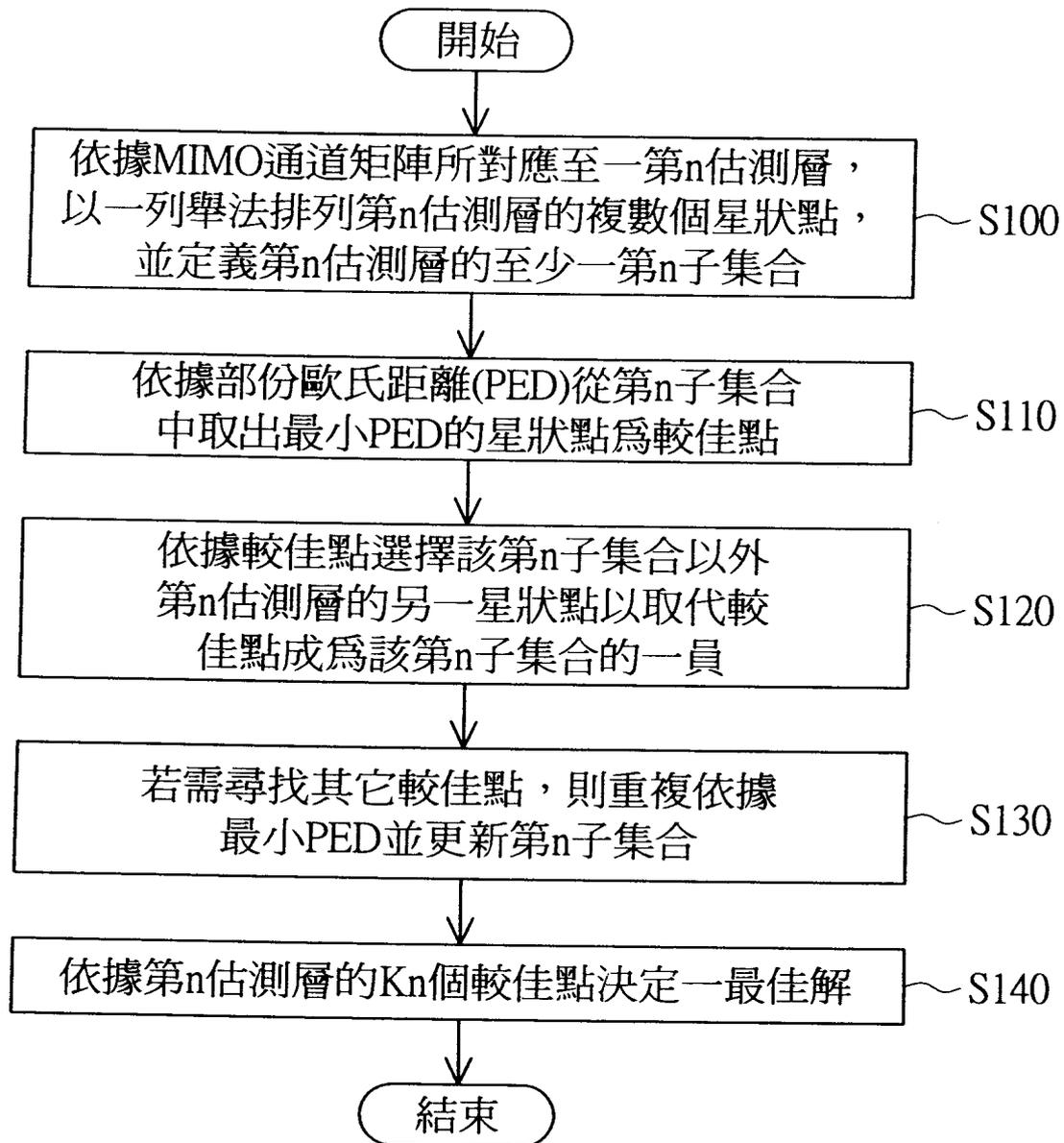
13. 如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中該最佳解為該第  $2T$  估測層的  $K_{2T}$  個較佳點當中 PED 值最小者。

14. 如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中每一估測層皆有  $\sqrt{M}$  個星狀點， $\sqrt{M}$  為正整數，該列舉法將每一組星狀點沿著該單一軸排列  $\sqrt{M}$  個星狀點，第  $n$  估測層依據第  $(n-1)$  估測層的  $K_{(n-1)}$  個較佳點排列  $K_{(n-1)}$  組  $\sqrt{M}$  個星狀點。

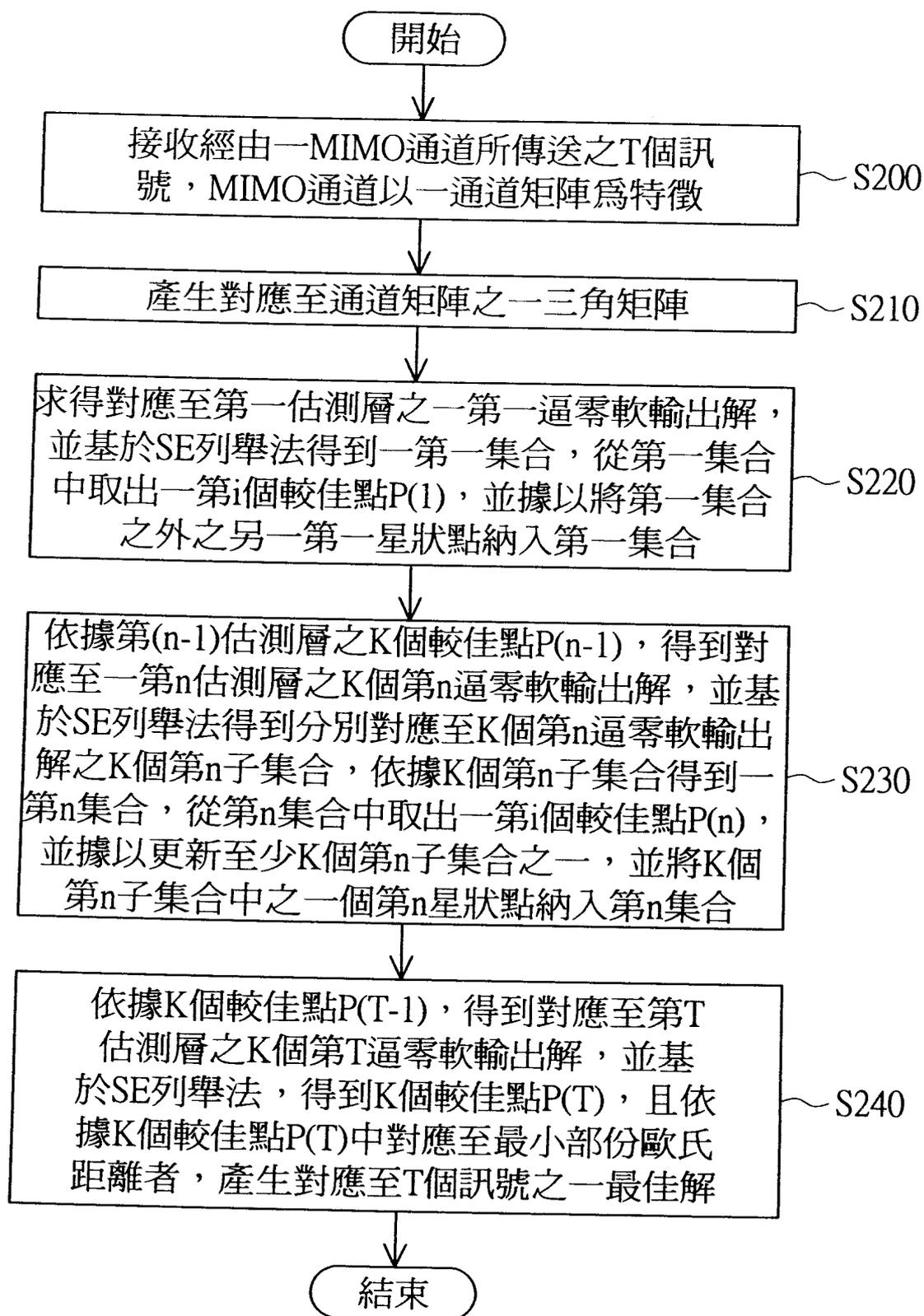
15. 如申請專利範圍第 9 項所述之方法，其中該單一軸係對應實部軸或虛部軸的其中之一。

16. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該列舉法為 SE(Schnorr & Euchner)列舉法。

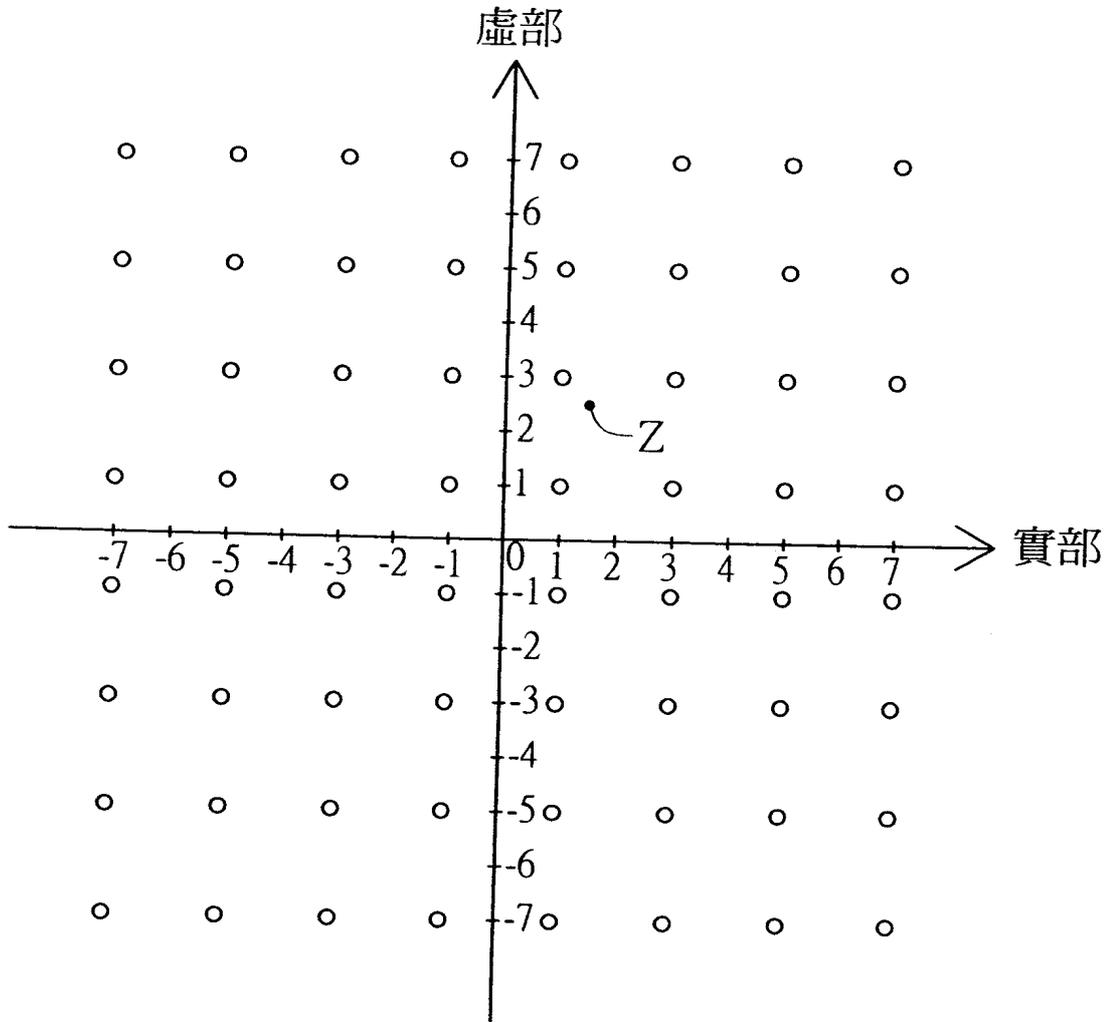
17. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中第  $n$  估測層的較佳點數目  $K_n$  係依據 MIMO 通道矩陣特性所決定。



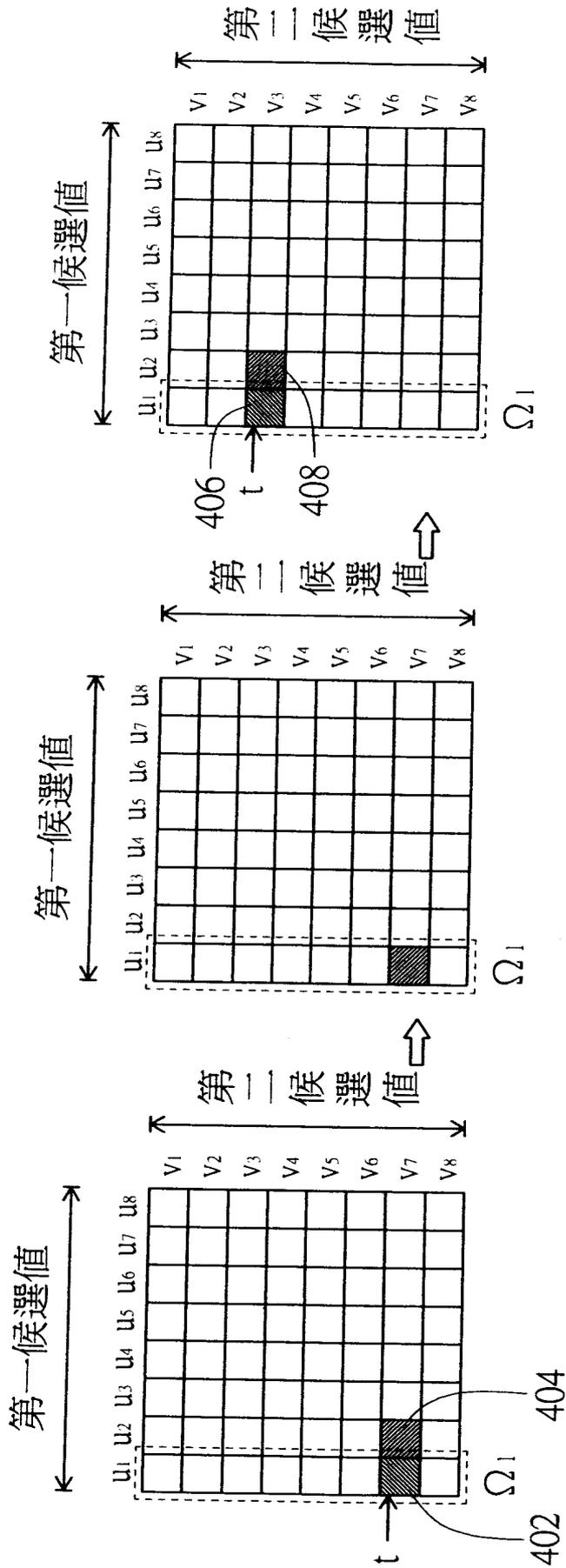
第 1 圖



第 2 圖

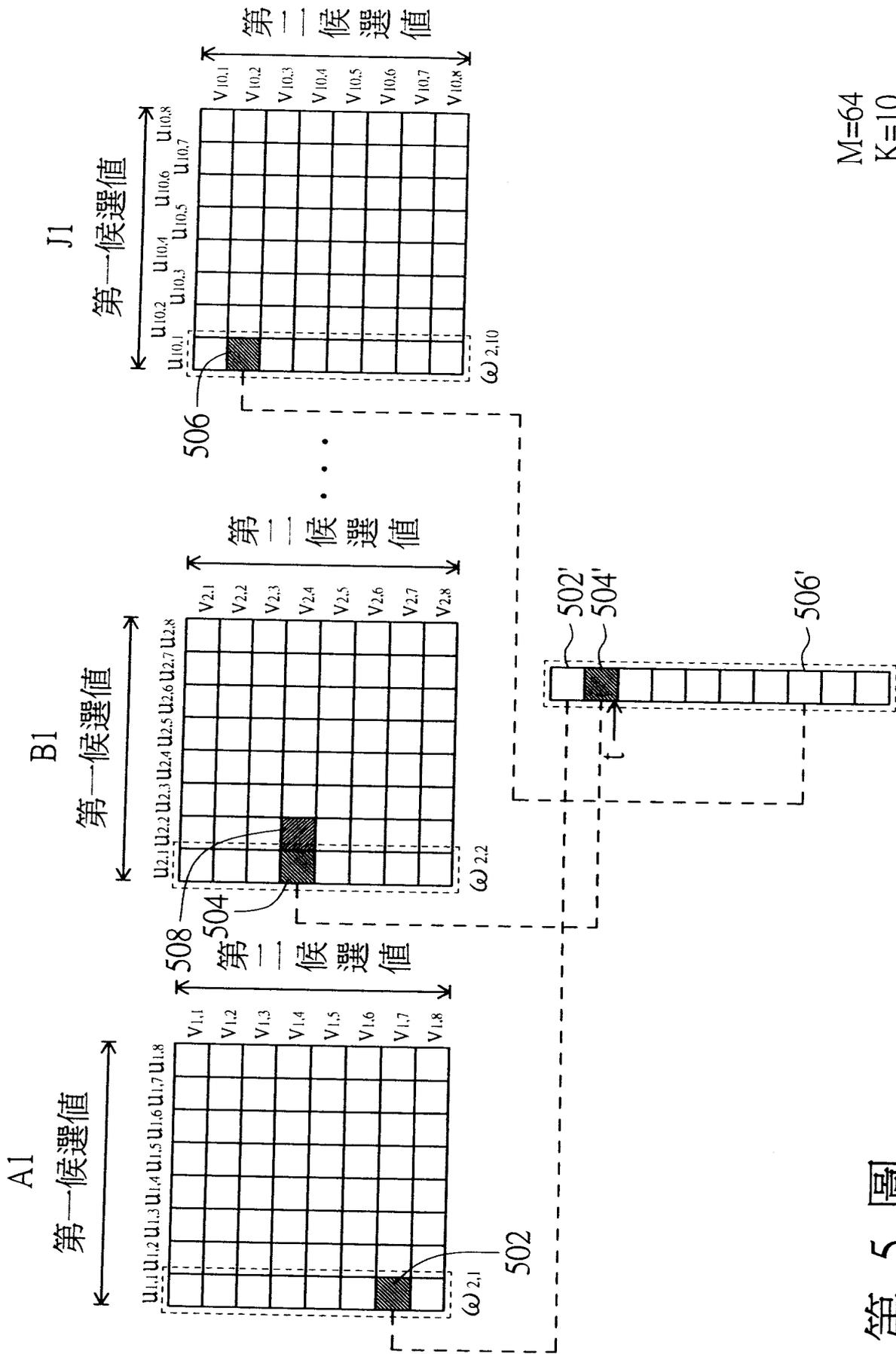


第 3 圖



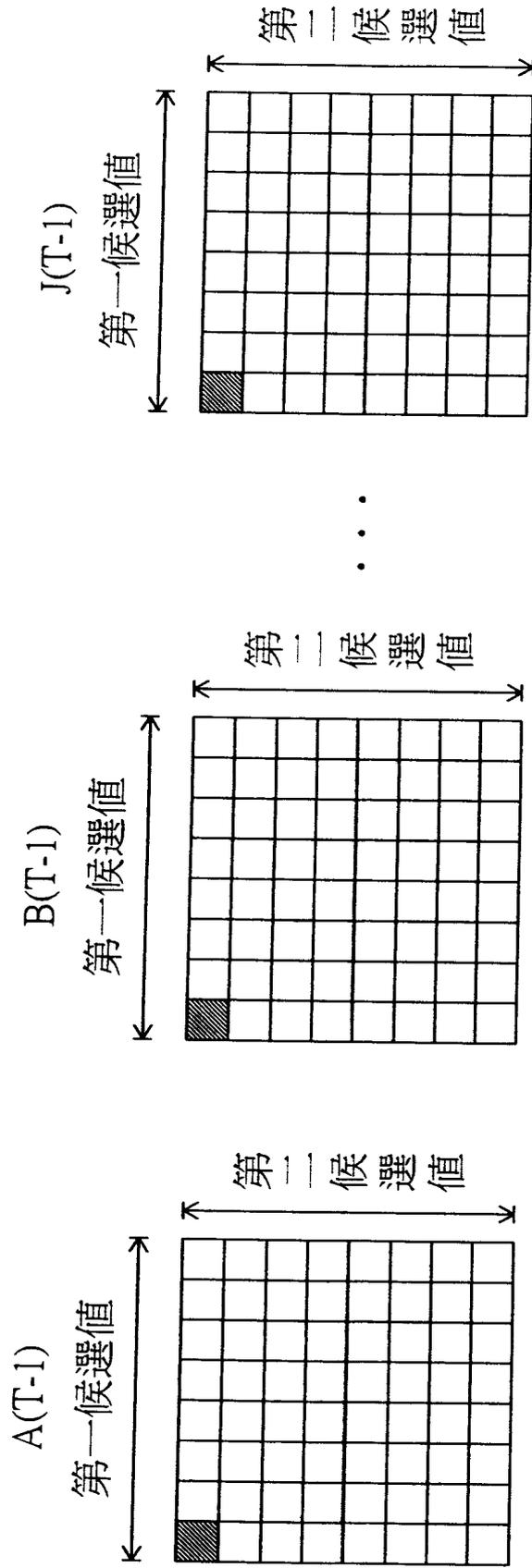
M=64  
K=10

第 4 圖



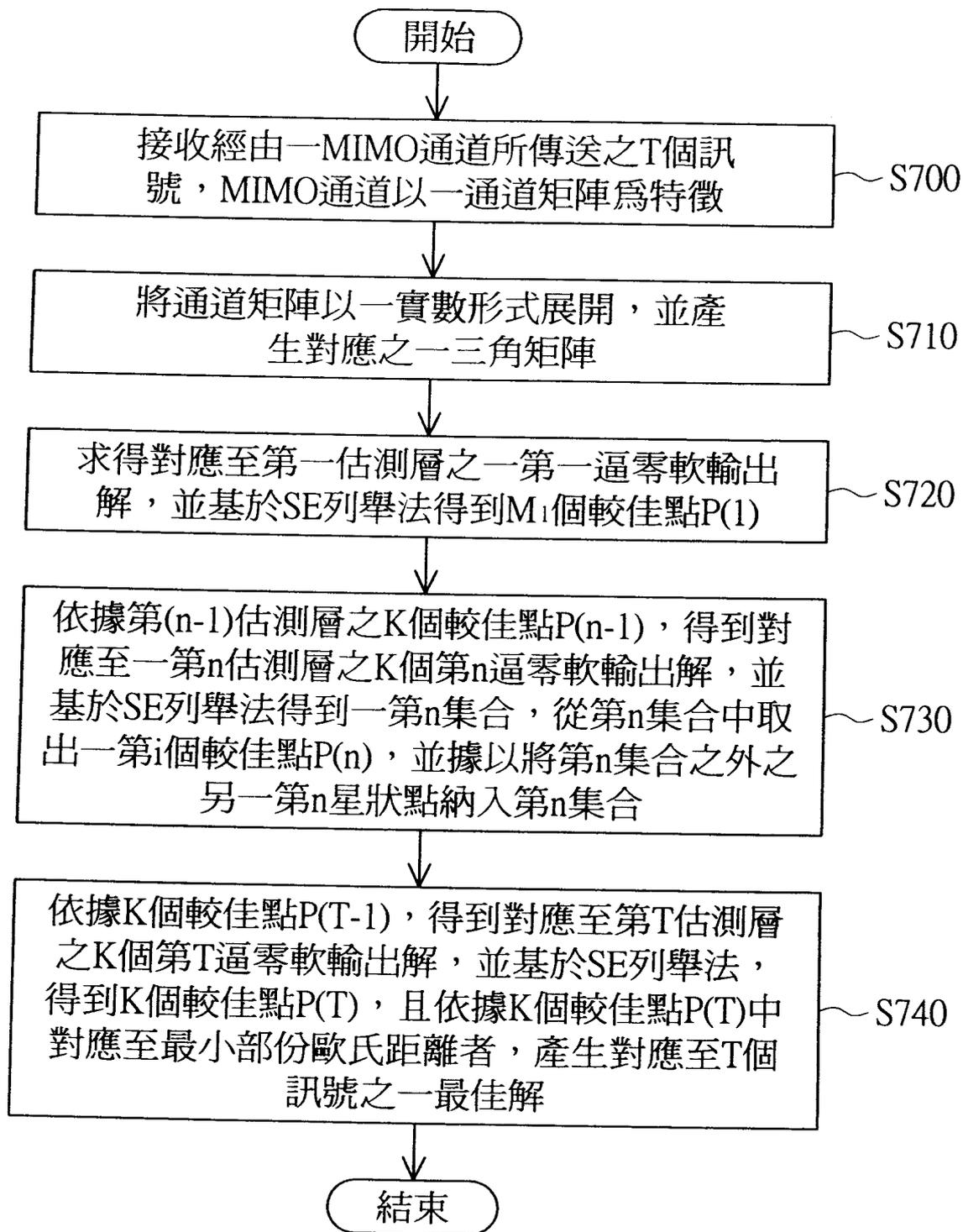
M=64  
K=10

第 5 圖

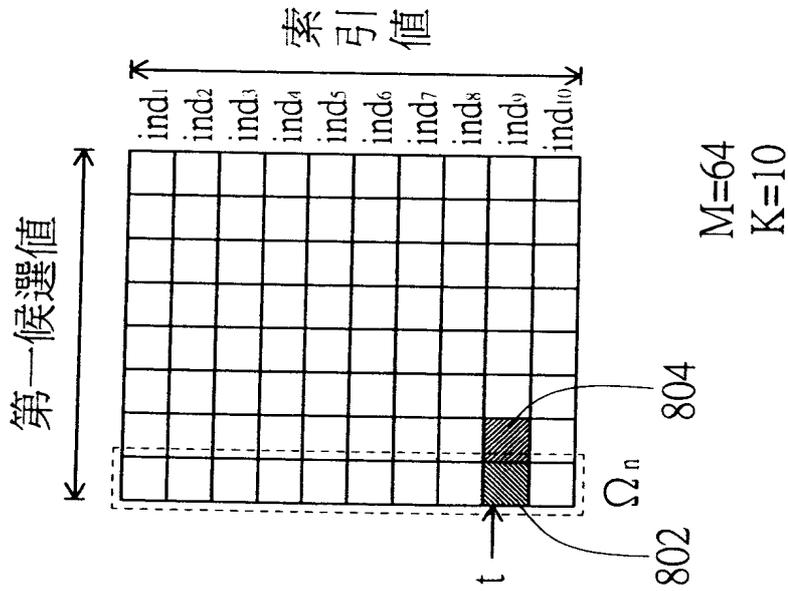


M=64  
K=10

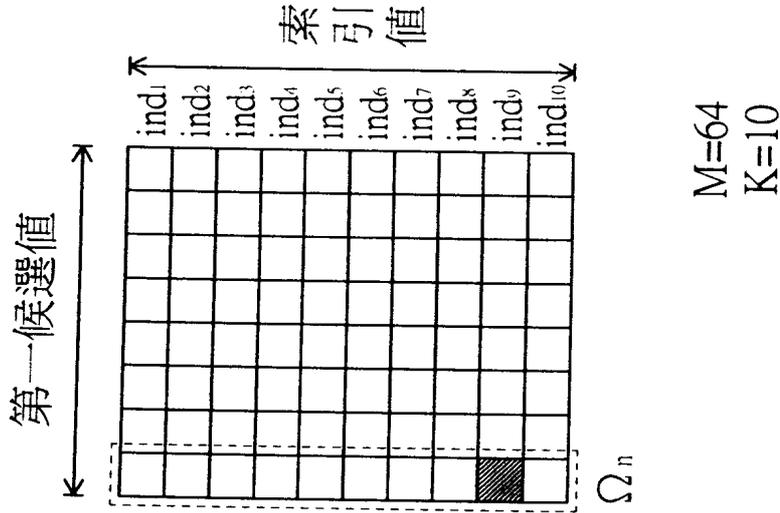
第 6 圖



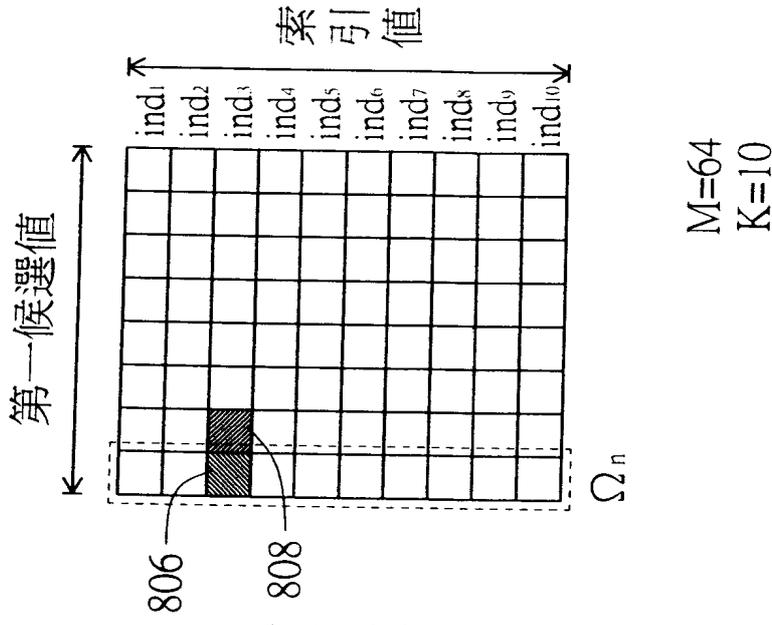
第 7 圖



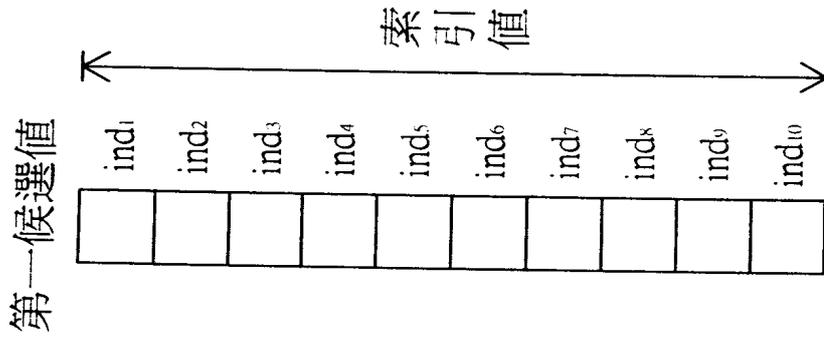
第 8A 圖



第 8B 圖



第 8C 圖



M=64  
K=10

第 9 圖

for the preferred point as one of the  $n^{\text{th}}$  sub-set. If other preferred points are needed to be found, the  $n^{\text{th}}$  sub-set is updated repeatedly according to the least PED. A best solution is determined according to  $K_n$  preferred points of the  $n^{\text{th}}$  detection layer.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

S100~S140：流程步驟

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無