

第 097110465 號專利申請案  
中文說明書替換頁(無劃線版)

# 發明專利說明書

10年7月6日修正替換頁

(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：097110465

※ 申請日期：97 年 3 月 25 日

※IPC 分類：H03M 13/00 (2006.01)  
H04B 7/04 (2006.01)  
H04L 25/03 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

降低最大似然多輸入多輸出(MIMO) OFDM 解碼器中之計算複雜性  
REDUCING COMPUTATIONAL COMPLEXITY IN MAXIMUM  
LIKELIHOOD MIMO OFDM DECODER

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

領特以色列有限公司 / LANTIQ ISRAEL LTD.

代表人：(中文/英文)

大衛 夏米爾 / SHAMIR, DAVID

住居所或營業所地址：(中文/英文)

以色列 43662 若娜娜市瑞青街 13 號 C 棟 7 樓及 8 樓 /  
13 ZARCHIN STREET, BUILDING C, 7 & 8TH FLOORS, 43662  
RAANANA, ISRAEL

國 籍：(中文/英文) 以色列 / ISRAEL

## 三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 安霍特 / ANHOLT, MICHA
2. 傑伊倫 / GERSON, ERAN
3. 范寇比 / VAINAPEL, KOBY

國 籍：(中文/英文)

1.-3.皆為以色列 / ISRAEL

#### 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：

美國；西元 2007 年 03 月 26 日；11/690,966

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。

## 五、中文發明摘要：

本發明係提供一種多輸入多輸出(MIMO)OFDM最大似然解碼器中之降低計算複雜性並同時維持高性能之方法及系統。一因子分解操作係施加於通道矩陣H上。此分解產生兩個矩陣：一僅於其對角線上具有實數之上三角矩陣以及一單位矩陣。此分解簡化了叢集點搜尋所需之距離計算之表示方式。一對兩空間流t(1)及t(2)所作之叢集內所有點之窮舉搜尋法係被實施，用以搜尋(t2)之所有可能的傳送點，其中每一點係產生一個以第一空間流(t1)之傳送點來表示之單一輸入單一輸出(SISO)裁剪問題。接下來，分解該第一空間流之x與y分量，因而將一個二維問題轉化成兩個一維問題。最後，在叢集點配置內搜尋第一空間流(t1)之剩餘點及使用葛雷碼，而由其所導出之對稱性係更降低了必須搜尋之叢集點的個數。

## 六、英文發明摘要：

A method and a system for reducing computational complexity in a maximum-likelihood MIMO decoder, while maintaining its high performance. A factorization operation is applied on the channel Matrix  $H$ . The decomposition creates two matrixes: an upper triangular with only real-numbers on the diagonal and a unitary matrix. The decomposition simplifies the representation of the distance calculation need for constellation points search. An exhaustive search for all the points in the constellation for two spatial streams  $t(1)$ ,  $t(2)$  is performed, searching all possible transmit points of  $t(2)$ , wherein each point generates a SISO slicing problem in terms of transmit points of  $t(1)$ ; then, decomposing  $x$ ,  $y$  components of  $t(1)$ , thus turning a two-dimensional problem into two one-dimensional problems. Finally searching the remaining points of  $t(1)$  and using Gray coding in the constellation points arrangement and the symmetry deriving from it to further reduce the number of constellation points that have to be searched.

**七、指定代表圖：**

(一)本案指定代表圖為：第(3)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

300	MIMO解碼器
310	QR分解模組
320	Q轉換模組
330	距離計算模組

● 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

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於無線通訊系統，具體而言，係有關於供高產出率(throughput)無線通訊系統所用之最大似然解碼器(maximum-likelihood decoders)。

### 【先前技術】

研究已經顯示，於無線通訊系統內達到高的產出率(高於100 Mbps)於近幾年已成為持續的挑戰。已建立之解決方式其中之一是使用複數個傳送及接收天線，即已知之多輸入多輸出(multiple-inputs multiple-outputs；MIMO)。MIMO優越之處在於能在不增加任何頻寬或總輸出功率支出之下，使一無線通訊系統之產出量與範圍增加。此優勢乃是藉由開發空間域(space domain)(由於多個天線於空間內係實體上分開)以增加一無線通訊系統之頻譜效率(spectral efficiency)(時間每秒與頻寬每赫茲所能傳送之資訊位元個數)來達成。MIMO有時候係與正交頻率多工調變(orthogonal frequency multiplexing modulation；OFDM)一同使用，而OFDM乃消除了不欲發生之副作用，譬如符際干擾(inter symbols interference；ISI)與衰落通道(fading channels)。

第1圖係顯示一依據先前技術之典型MIMO OFDM系統之大致結構。此MIMO 傳送器100係具有多個天線110A-110C，每一天線能夠傳送獨立訊號至一MIMO接收器120，該MIMO接收器120係配備有多個接收天線130A-130B

5 傳送器 100 可包含一前向錯誤校正 (forwarded error correction ; FEC) 碼編碼器 101、一交錯器 (interleaver) 102、  
 一 MIMO 叢集映射器 (MIMO constellation Mapper) 103、一 OFDM MIMO 調變器 (IFFT) 104 以及一類比及 RF 單元 105。該  
 MIMO 接收器 120 可包含一 RF 及類比單元 121、一 MIMO OFDM 解調變器 (FFT) 122、一 MIMO 解碼器 123 (或已知為截  
 10 剪器 (slicer))、一解交錯器 124，以及一 FEC 解碼器 125，全  
 部用來將進入的 RF 訊號轉換成代表通過通道來傳送之資訊  
 位元的空間流 (spatial streams)。此 MIMO 解碼器 (截剪器) 係  
 接收複數個位元之空間流，並將其解碼成資訊位元。在一  
 些 MIMO 系統中，此解碼器係實施硬決定 (hard decision) 並  
 傳遞最終值資訊位元，然而於其他系統中，此解碼器係傳  
 遞軟輸出 (soft output)，以於一維特比解碼器 (Viterbi  
 15 decoder)、低密度奇偶校驗解碼器 (low density parity check ; LDPC) 等類似物中進一步實施軟解碼 (soft decoding)。

於一 MIMO OFDM 系統中，於快速傅立葉轉換 (fast Fourier transform ; FFT) 輸出之每一音調 (tone) 處所接收訊號  
 向量可以下列表示式來給定：

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

20 其中  $r$  是於一特定音調處之所接收訊號向量， $H$  是所知 (或所估測) 之通道矩陣 (於同一音調處)，其典型上包含代表  
 通道之複數係數 (complex coefficient)， $t$  係所傳送訊號向量 (每一音調) 且  $n$  係附加雜訊向量 (於該音調處)。最大似然解碼

(Maximum-likelihood decoding ; ML decoding)係以BER之用語來表示對MIMO解碼提供最佳效能。一供MIMO OFDM系統使用之最佳每位元ML解碼器(per bit ML decoder)係對數似然比解碼器(log-likelihood ratio decoder ; LLR decoder) , 其實現起來乃相當複雜。LLR之良好近似可藉由實現LogMax近似來達成。此LogMax解碼器係搜尋整個可能之傳送訊號向量 $t$  , 以找出將下式所給定之歐幾里德距離(Euclidean Distance)  $d(t)$ 最小化之特定向量 :

$$d(t) = \|r - Ht\|^2 \quad (2)$$

特別地 , 對於每一傳送位元 , 此LogMax演算法於 $d(t)$ 上搜尋最小值以得到將數值0分派給此位元之傳送向量 , 以及一第二時間係於 $d(t)$ 上搜尋最小值以得到將數值1分派給此位元之傳送向量。兩數值間之差距(高達至一為雜訊變異數之比例因子(scaling factor))即LogMax近似。

於使用方波調變(square modulation)之MIMO系統中 , 譬如正交調幅(quadrature amplitude modulation ; QAM) , 距離計算之個數變為指數 , 並以下列表示式給定 :

$$M^{2N_T} \quad (3)$$

其中 $M^2$ 係叢集內之點的個數且 $N_T$ 係空間流之個數。因此可明白的是 , LogMax解碼器之複雜性必須降低 , 以能於諸如即時通訊系統之任何實際應用中使用。

欲處理ML MIMO解碼之高複雜性挑戰的種種不同企

圖乃為本領域內所知。最值得注意的是美國專利申請案第20050249302號，其全部內容係併入於此作為參考，其揭露了一種低複雜性之MIMO-OFDM解碼器，該解碼器用以接收複數個傳送訊號並同時對其解碼。另一範例是線性解碼器，其易於實現，並且有時作為空間等化器 (spatial equalizer)(亦即於解碼之前在進入訊號之向量上對通道效應作線性補償)。美國專利申請案第20060092882號，其全部內容係併入於此作為參考，係揭露了一種MIMO-OFDM解碼器，其藉由使用強制歸零(zero-forcing) ZF空間等化器來實現LogMax。另一本領域已知之線性解碼器之一範例係普遍存在之均方根誤差(Mean-Square Error; MMSE)解碼器。然而，線性解碼器乃遭遇了低劣效能(以BER來表示)之問題，於高產出量之傳輸中更是如此。

另一MIMO解碼之方式是在一些叢集點上實施一非窮舉搜尋法(non-exhaustive search)，這是已知之球面解碼(sphere decoding)。於一球面解碼器中，此搜尋係於一圓心於點 $x$ 、半徑為 $r$ 之超球面(hyper sphere)中實施。叢集點僅於球面內搜尋，其中，半徑會根據預定參數而動態變化。舉例而言，英國專利第GB427106號，其全部內容係併入於此作為參考，係揭露了一種用於MIMO應用之球面解碼器，其具有降低之通道估測矩陣(channel estimate matrix)之計算複雜性分解。然而，對編碼系統而言，此球面仍保持著高複雜性，並且此複雜性與訊號對雜訊比(signal-to-noise ratio; SNR)高度相關。

另一種方式係將窮舉搜尋法過程內所需之至少部分表示式加以簡化。舉例而言，Monish Ghosh與Xuemei Ouyang係於International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing所發表之論文”Reduced-Complexity ML detecton for Coded MIMO systems Using Absolute-Value Search”(2005年、第3冊、頁數1025至1028)中為歐基理德距離提議了一種替代表示式。Ghosh及Quyang係使用一易於計算之絕對值為主之表示式來取代以上(2)中所提及之歐基里德距離表示式。

ML MIMO解碼器內之計算複雜性與系統效能之間的利益權衡對工程師造成了實在的挑戰，而擁有一種一方面具有大幅降低之複雜性而另一方面又維持高效能之完全ML MIMO解碼器是有其優勢的。

#### 【發明內容】

本發明大致係針對一種多輸入多輸出(MIMO)OFDM最大似然解碼器中之降低計算複雜性並同時維持高效能之方法及系統。

根據本發明之一面向，歐基里德距離表示式(上述表示式(2))係被轉換成一較簡單的表示式(以複雜性而言)。此轉換可以藉由將通道矩陣H分解成矩陣之乘積來達成，其中該等矩陣當中至少之一為稀疏之上三角、三角或近似三角矩陣，而另一矩陣為一單位矩陣。在一些實施例中，此轉換係藉由一QR分解來達成，其中H係分解成矩陣R(R為一僅於

其對角線上具有實數值之上三角矩陣)與矩陣 $Q$ ( $Q$ 為一將用作一轉換運算子之單位矩陣)之乘積。具優勢的地方在於，此藉由單位矩陣之轉換並不會改變(空間上的白)雜訊之自相關性(autocorrelation)，因此無須改變每一距離之自相關矩陣。

根據本發明之另一面向，乃於該等叢集點上所接收之每一空間流上執行一窮舉搜尋法(exhaustive search)，其中對該等空間流其中之一之搜尋係實質地降低，然而卻無效能降級之狀況。特別地，在此空間流內必須被搜尋之叢集點個數由 $M^2$ 降低成 $2M$ ，其中 $M^2$ 係代表一給定方形叢集內之點的總數。此降低乃由於方波調變之正交特性而達成(即訊號之 $x$ 與 $y$ 分量相獨立與正交)。更特別地，在接收一第一空間流( $t_1$ )與一第二空間流( $t_2$ )後(在兩個空間流之情況下)，第二空間流( $t_2$ )之所有可能的傳送點皆被掃瞄，其中每一點係產生一個以第一空間流( $t_1$ )之傳送點來表示之單一輸入單一輸出(SISO)截剪問題。接下來，該第一空間流之 $x$ 與 $y$ 分量係被分解，而將一個二維問題轉化成兩個一維問題；最後，第一空間流( $t_1$ )之剩餘點係被搜尋。

根據本發明之第三面向，葛雷碼(Gray coding)係用來在傳輸之前之叢集映射中以及用在解碼上面，因而使得必須計算之距離的個數進一步獲得降低。此降低乃導因於葛雷碼相對於每一軸之對稱特性。

### 【實施方式】

第2圖係顯示一用以說明根據本發明之數個實施例所實施之複雜性降低的種種不同面向之流程圖。具體而言，第2圖係關於兩個空間流之解碼程序。應更清楚的是，本發明可以利用任何數量之空間流來實施(為接收與傳送天線之函數)。於區塊208中，至少兩個空間流(t1)及(t2)被解碼器所接收(同時地)。於區塊210中，通道矩陣H被分解成為一第一矩陣R與一第二矩陣Q。第一矩陣R係一上三角矩陣，僅於其對角線上有實數值，以及第二矩陣Q係一單位矩陣。於區塊220中，一第二空間流(t2)之所有可能傳送點皆被搜尋(掃描)，其中每一點係產生一個一維解碼問題(SISO截剪)，該一維解碼問題係以第一空間流(t1)之傳送點來表示。於區塊230中，第一空間流係分解成為其x與y分量，而將一個二維問題轉化成兩個一維問題。最後，於區塊240中，第一空間流(t1)之傳送點係被搜尋，同時並考慮由葛雷碼(Gray Coding)叢集配置所導出之對稱性以及所欲掃描點個數之降低。於步驟220與240中，搜尋皆運用數學表示式，尤其是歐基里德距離，其將於以下作更詳細的說明。

雖然本發明係設計來供無線應用所用，但是其亦可應用至有線(線路(wire-line))MIMO系統。解碼器可以應用至任何個數與種類之接收與傳送天線以及供其他通訊方法所用，譬如CDMA及類似物。

### 使用線性轉換以達到複雜性之降低

根據本發明之數個實施例，以上提及之表示式2中所給

定之歐基里德距離係可藉由線性轉換之方式來轉換成一複雜性降低之簡化表示式。這樣的轉換可以藉由將QR分解施加於通道矩陣H上來達成。於QR因子分解(QR Factorization)(分解(decomposition))，係使用矩陣R在傳送點間距離之表示式 $d(t)$ 上施加一線性轉換。因此， $d(t)$ 乃依據與 $d(t)$ 實質相同但複雜性降低之通道表示法來被轉換成另一個表示式 $d'(t)$ 。

接下來是一於專用情況之QR分解的實現範例。此範例乃顯示出，由於對歐基里德距離之轉換表示式並無實質上之改變，因此使用此轉換表示式並不會降低解碼器之效能。應明白的是，以下範例並不會對依據本發明之方法造成任何普遍性之限制，並且可以應用至任何個數的傳送與接收天線。根據以下範例之MIMO系統具有三個接收天線以及兩個空間流。因此，此情況中的距離表示式係由下列表示式給定：

$$d(t) = \left\| r_{(3)} - H_{(32)} t_{(2)} \right\|^2 \quad (4)$$

其中，下標係表示元素之維數。

QR分解係將矩陣H作因子分解並滿足：

$$H_{(32)} = Q_{(32)} R_{(22)} \quad (5)$$

以及

$$(Q_{(32)})^{\dagger} H_{(32)} = R_{(22)} \quad (6)$$

劍號係代表赫米特共軛(Hermitian Conjugation)。

因此， $Q_{(32)}$ 可以被展開成3x3正交矩陣 $Q_{(33)}$ 而滿足：

$$\left[ H_{(32)} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = Q_{(33)} \begin{bmatrix} R_{(22)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

藉由在範數(norm)前乘上正交轉換Q，可獲得下式：

$$\begin{aligned} d(t) &= \left\| Q_{(33)}^\dagger r_{(3)} - Q_{(33)}^\dagger H_{(32)} t_{(2)} \right\|^2 = \\ &= \left\| Q_{(32)}^\dagger r_{(3)} - Q_{(32)}^\dagger H_{(32)} t_{(2)} \right\|^2 + \|r'_3\|^2 = \\ &= \left\| r_{(2)}' - R_{(22)} t_{(2)} \right\|^2 + \|r'_3\|^2 \\ &= d'(t) + \|r'_3\|^2 \end{aligned} \quad (8)$$

其中R係代表R矩陣(轉換)，r係代表接收訊號向量，以及r'係代表R轉換後之接收訊號向量。

$r'_3$ 係 $Q_{(33)}^\dagger r_{(3)}$ 之第三元素。

由於 $r'$ 與傳送訊號相獨立，因此d與d'之最小化得到相同的結果。

$$d(t) = \left\| r_{(3)} - H_{(32)} t_{(2)} \right\|^2 = \left\| r_{(2)}' - R_{(22)} t_{(2)} \right\|^2 + Const \quad (9)$$

因此，QR分解滿足了為每點所找尋之最小距離之過程中所需之計算，並同時在偵測可能性方面維持了相同的效能。此外，QR分解將矩陣降低成空間流之個數(nSS)，其可能是一小於接收天線個數(nRx)之個數，而又降低了複雜性。又另一降低則是由R之稀疏特性(sparse nature)來推導出，原因在於QR分解亦使矩陣R之較低對角部分以及矩陣之對

角元素之虛數部分變成零。

具體而言，計算複雜性的降低乃由於將虛數部分變成零。藉由使用  $d(t)$  之通式內明白所示之性質， $d(t)$  之簡化形式可由下式給出：

$$\min_{t_2} \left( |r_2' - R_{22}t_2|^2 + \min_{t_1} |r_1' - R_{11}t_1 - R_{12}t_2|^2 \right) = \quad (10)$$

$$\min_{t_2} \left( |r_2' - R_{22}t_2|^2 + \min_{t_{1r}} \left( |r_{1r}' - (R_{12}t_2)_r - R_{11}t_{1r}|^2 \right) + \min_{t_{1i}} \left( |r_{1i}' - (R_{12}t_2)_i - R_{11}t_{1i}|^2 \right) \right)$$

藉由利用正交調變特性來達到複雜性之降低

現返回第2圖，區塊220係代表在接收空間流兩者後，所揭露之解碼器係實施第二空間流( $t_2$ )之所有可能傳送點之完全(單純(naïve))掃描。在此掃描中，每一傳送點係產生一個以第一空間流( $t_1$ )之傳送點所表示之單一輸入單一輸出(single-input single-output; SISO)解碼(截剪)問題。因為  $R$  之較低對角元素皆為零，因此可以達成此點。接下來，如區塊230所顯示，第一空間流之  $x$  與  $y$  分量被分解，而將一個二維問題轉化成兩個一維問題。結果， $t_1$  內必須被搜尋之點乃成為單一行及單一系列之形式。此  $x$ - $y$  分解是可能的，原因在於在正交調變之幾何中，訊號空間上之基本訊號是正交的(即彼此正交)，另一原因也在於對角元素  $R_{11}$  是實數的這個事實。

因此，在仰賴 QAM 之幾何與其餘方波調變(正交)下，在第一空間流上所作之搜尋的複雜性乃約從  $M^2$  降低至  $2M$ 。須

注意，本發明可以應用至任何個數之空間流，其中僅有一個空間流之搜尋(在對其他所有空間流實施單純搜尋後)可以如上所述來大幅度地降低。

### 解碼器之硬體實現

5 MIMO解碼器可使用許多種方式來實現成硬體。明白而言，最佳效能可於特殊應用積體電路(application specific integrated circuit; ASIC)技術內達成。然而，本發明可以使用數位訊號處理器(digital signal processor; DSP)、指定的場可程式化閘陣列(field programmable gate array; FPGA)或  
10 任何軟體來實現。第3圖係顯示本發明之一硬體實施例之簡化方塊圖。MIMO解碼器300係包含三個模組。第一個模組是QR分解模組310，其實施矩陣因子分解。第二個模組是Q轉換模組320，其實施實際線性轉換(由QR分解推導而得)。此模組將 $r$ 轉換成 $r'$ 。第三個模組是距離計算模組330，其為  
15 每一位元值來計算每一位元之兩個最短距離。因此，距離計算模組330提出具有最小歐基里得距離於兩點間之一對點。當因子分解實施以使操作個數最小化後，距離計算模組係運用通道矩陣之稀疏特性以找到這些距離。這些距離係用來產生一軟位元給Viberbi解碼器或類似物使用，但其  
20 也可能提供一硬決定值。QR分解模組310之輸出係耦合至Q轉換模組320之輸入以及耦合至距離計算模組330之輸入。再者，Q轉換模組320之輸出係耦合至距離計算模組330之輸入，其中距離計算模組330之輸出可連接至一Vieterbi解碼器

或類似物。

第4圖係顯示本發明之部分實施例之方塊示意圖。為了達成一多天線系統所要求之效能表現，乃增加了數個偏移模組401A-401F以於可能處放大訊號。這些元件是已知的偏移模組、再偏移模組，以及偏移控制模組。所有的這些偏移模組係耦合於解碼器之模組之間：QR分解模組310、Q轉換模組320以及距離計算模組330。

根據本發明之其他實施例，係提供了高等級之平行計算以及硬體再使用。舉例而言，QR因子分解係利用一個供所有載子(carrier)使用之長管線。相同的硬體係用來計算通道矩陣H之QR因子分解以及將輸入向量r傳送至 $Q^{\dagger}r$ 。此外，相同的硬體係供矩陣H之不同維度來再使用。類似地，此搜尋乃利用平行機器運轉來實施—每一機器於一個管線內於每一處置它的時脈對第一空間流之每一點掃描。此外，MIMO解碼器係對更新階段與解碼階段、以及亦對不同的矩陣尺寸，提供了相同硬體之再使用。

#### 藉由利用葛雷碼特性來達成複雜性之進一步降低

根據本發明之其他實施例，乃根據一預定解碼運算法來藉由利用葛雷碼之特性，而達成解碼程序之計算複雜性之進一步降低。依據這些實施例，乃使用了葛雷碼來實施將位元映射成符號，其中沿零軸之對稱性係葛雷碼組態之特性，其更降低了解碼程序之計算複雜性。

以下是使用葛雷碼來降低複雜性之一範例。在二進位

相移鍵控(binary phase shift keying ; BPSK)之情況中，僅有兩點，並且叢集是一維。對於更高階之叢集，每一符號永遠有偶數個位元(QPSK、16QAM、64QAM、256QAM)，因此半數的位元決定x值，而半數的位元決定y值。每一軸之映射係一由位元至一維符號之自然映射。X軸映射與Y軸映射之組合乃決定了二維符號。

每一軸之映射可利用下述的反覆程序來加以定義。以下是一顯示葛雷碼映射之初始步驟的表格：

位元值	符號
	$\text{map}_1(x)$
0	-1
1	1

(11)

在初始步驟後，乃實施一反覆步驟。在給定k位元已經於一特定點映射之情況下，k+1位元之映射可用下表來總結：

字元值	符號
	$\text{map}_{k+1}(x)$
0x	$\text{map}_k(x) - 2^k$
1x	$-\text{map}_k(x) + 2^k$

(12)

此反覆步驟係如以下描述來實施：k較低位元之映射係映射k，以及使用該映射與所增加的最高位元(most significant bit；MSB)來定義k+1映射。k+1代表字元0x或1x，其中x是k位元之字元，其代表較低的最低位元(least significant bits；LSBs)。

根據本發明之部分實施例，可以運用以上所提及的反覆步驟來降低用於Log Max計算之掃描的點的個數。以下是一顯示待掃描的點之個數如何降低之範例。於下表中，係提供八個點的映射：

b3b4b5	符號
000	-7
001	-5
011	-3
010	-1
110	1
111	3
101	5
100	7

(13)

為了舉例之目的，接收點係假定為3.9。下表係總結每一位元之最近點：

位元	值0	值1
b3	-1 <u>0</u> 10	3 <u>1</u> 11
b4	5 <u>1</u> 0 <u>1</u>	3 <u>1</u> 1 <u>1</u>
b5	1 <u>1</u> 1 <u>0</u>	3 <u>1</u> 1 <u>1</u>

(14)

第5圖係顯示一64QAM叢集映射上之 $t_1$ 之相關點，其中接收點係標示為510。如之前所述，由於QR分解而使得表示式(10)有效以及叢集幾何之原因，整個搜尋平面可能降低成一行520與一列530。於64QAM中， $t_1$ 上之搜尋係由64個點降低為15個點。

現在，可藉由下述反覆步驟來找到所述距離(但不一定是所述點)，此反覆步驟實質上倒轉了葛雷碼之構造：

- (a) 接收點並藉由 $x$ 設定於階段 $k+1$ 。
- (b) 如果 $x > 0$ ，則用於LSB之最近點係值1。此點尚未得知，但其將為於程序之末端所計算之最近點。另一距離是到具有LSB位元0之點的距離。此點一定是點-1(因為所有LSB為零之點均為負值，且-1最接近0)。因此對位元 $k+1$ 數值「0」之距離是 $x+1$ 。現在， $2^{k-x}$ 可被實施，並對 $k$ 位元利用階段 $k$ 來施加解碼。
- (c) 如果 $x < 0$ ，則用於LSB之最近點係值0。此點尚未得知，但其將為於程序之末端所計算之最近點。另一距離是到具有LSB位元1之點的距離。此點一定是點1。因

此對位元 $k+1$ 數值「1」之距離是 $-x+1$ 。現在， $2^{k+x}$ 可被實施，並對 $k$ 位元利用階段 $k$ 來施加解碼。

(d) 當僅留下一個位元時，到第二者之距離再度為 $|x|+1$ (如先前階段)。此位元之值乃藉由 $x$ 之正負號來決定。然而，亦可能於距離 $1-|x|$ 處發現最短距離。此距離對所有位元皆有效。其亦可如階段 $0$ 來實施。

在以上描述中，一實施例是本發明之實現方式之範例。「一個實施例」、「一實施例」或「一些實施例」不一定皆提及相同實施例。

雖然本發明之種種不同特徵可以在單一實施例之文句內來描述，這些特徵亦可以分別提供或是於任何適合的組合內提供。反之，雖然本發明在此為清晰起見係以不同實施例之文句來描述，然而本發明亦可以以單一實施例來實現。

在此說明書內對於「一些實施例」、「一實施例」、「一個實施例」以及「其他實施例」之參照乃意味著，與這些實施例相連描述之一特別特徵、結構或是特性，係包含於至少部分實施例中，但不一定是本發明之所有實施例中。

可明瞭的是，在此所使用之措詞或術語並不用來解釋為限定之用，而僅做描述之用途。

本發明之教示之原理與使用可以參照所附描述、圖式及範例來獲得更佳的理解。

須明瞭，在此提出之細節並不解釋為限制本發明之應用之用。

再者，須明瞭，本發明可以種種方法來完成或實施，以及本發明可以利用以下描述所概括之外的實施例來實現。

5 須了解，「包含」、「包括」、「組成」這些用語以及其文法變型並不排除一或更多個元件、特徵、步驟、以及其群組之整數之添加，以及這些用語係被解釋為指明元件、特徵、步驟或整數之用。

如果說明書或申請專利範圍提及「一額外」元件，其並不排除一個以上之該額外元件。

10 須了解，在申請專利範圍或說明書述及「一」元件之處，此述及並不解釋為僅有一個該元件。

須了解，在說明書陳述一元件、特徵、結構、或特色「可(may)」、「可能(might)」、「可以(can)」或「可能(could)」被包含，並不要求要包含此特別的元件、特徵、結構、或特性。

15 在可應用之處，雖然狀態圖、流程圖或兩者可用來描述實施例，本發明並不限至這些圖式或所對應之描述。舉例而言，流程圖不需要通過每一顯示之方塊或狀態來移動，或不需要如所顯示或所描述之完全相同順序。

20 本發明之方法可藉由人工化地、自動化地、或兩者之組合實施所選擇之步驟或工作來實現。

「方法」這個名詞可指的是方式、手段、技術，或達成一給定工作之程序，該給定工作包含但不限制是本發明所屬技術領域之實現者所知、或由其所知之方式、手段、

技術或程序所開發之方式、手段、技術或程序。

申請專利範圍和說明書所提出之描述、範例、方法和材料並不解釋為限制之用而僅作為說明性之用途。

在此所使用之技術或科學名詞之意義係廣泛地為本發明所述技術領域之通常技術者所知，除非另行定義。

本發明可以利用在此所描述之方法或材料之等效者來於測試或練習中實現。

本說明所參照或提及之任何發表，包含專利、專利公報或論文乃在此整體納入本說明書，到達與若在此指出要特別或個別地收納每一個別說明書之描述相同的程度。此外，本發明之部分實施例之描述內之任何參照之引用或確認將不解釋為承認這樣之參照係是本發明之可用的先前技術。

雖然本發明已經對有限個數之實施例來加以描述，這些實施例並不解釋為限制本發明範圍之用，而僅作為實施例當中部份者之舉例之用。本領域之技術者當可想像其他可能之變化、修改或應用，其亦落於本發明之範圍中。故而，本發明之範圍不應該受到此描述者所限制，而是受到所附申請申請範圍及其法律等效者所限制。因此，須了解，本發明之替代、修改，及變化係被解釋為落於所附加申請專利範圍之範圍及精神中。

### 【圖式簡單說明】

第1圖係依據先前技術之MIMO系統之方塊示意圖。

第2圖係顯示本發明之一實施例之流程圖。

第3圖係顯示依據本發明之解碼器之方塊示意圖。

第4圖係依據本發明之解碼器之進一步細節之方塊示意圖。

5 第5圖係可應用至本發明之64 QAM叢集映射之示意圖。

● 【主要元件符號說明】

100：MIMO 傳送器

10 101：前向錯誤校正碼編碼器

102：交錯器

103：MIMO 叢集映射器

104：OFDM MIMO 調變器

105：類比及 RF 單元

15 110A、110B、110C：天線

● 120：MIMO 接收器

121：類比及 RF 單元

122：MIMO OFDM 解調變器

123：MIMO 解碼器

20 124：解交錯器

125：FEC 解碼器

130A、130B：天線

208：接收至少兩個空間流( $t_1$ 、 $t_2$ )

300：MIMO 解碼器

310：QR 分解模組

5 320：Q 轉換模組

330：距離計算模組

401A 至 401F：偏移模組

## 十、申請專利範圍：

1. 一種多輸入多輸出(MIMO)OFDM最大似然解碼器中之降低計算複雜性之方法，該方法包含步驟：

於一通道矩陣H中接收複數個空間流 $t_1, \dots, t_N$ ，其中  
5  $N > 1$  並是空間流之個數；

從 $t_N$ 至 $t_2$ ，搜尋每一空間流之所有可能傳送點，其中 $t_2$ 內  
之每一點係產生一個以空間流 $t_1$ 之傳送點表示之一維問題；

分解第一空間流 $t_1$ 之x及y分量，藉此轉換一個二維問題  
成兩個一維問題，且其中於 $t_1$ 內該等要被搜尋之點係在單一  
10 行與單一系列之中；以及

於 $t_1$ 之該單一行與單一系列內搜尋該等點。

2. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中在接收該等至少兩個空間流之前，於一歐基里德距離表示式 $d(t)$ 上實施一轉換以大幅降低 $d(t)$ 之複雜性。
3. 如申請專利範圍第2項所述之方法，更包含：對該矩陣H進行QR分解，其中該轉換係由R矩陣所實施。
4. 如申請專利範圍第3項所述之方法，其中該R矩陣之對角線係僅包含實數。
5. 如申請專利範圍第2項所述之方法，其中該等所接收之  
20 空間流係包含利用一葛雷碼運算法(Gray code scheme)所映射之符號，且其中該葛雷碼運算法係以沿零軸之對稱性為其特徵。

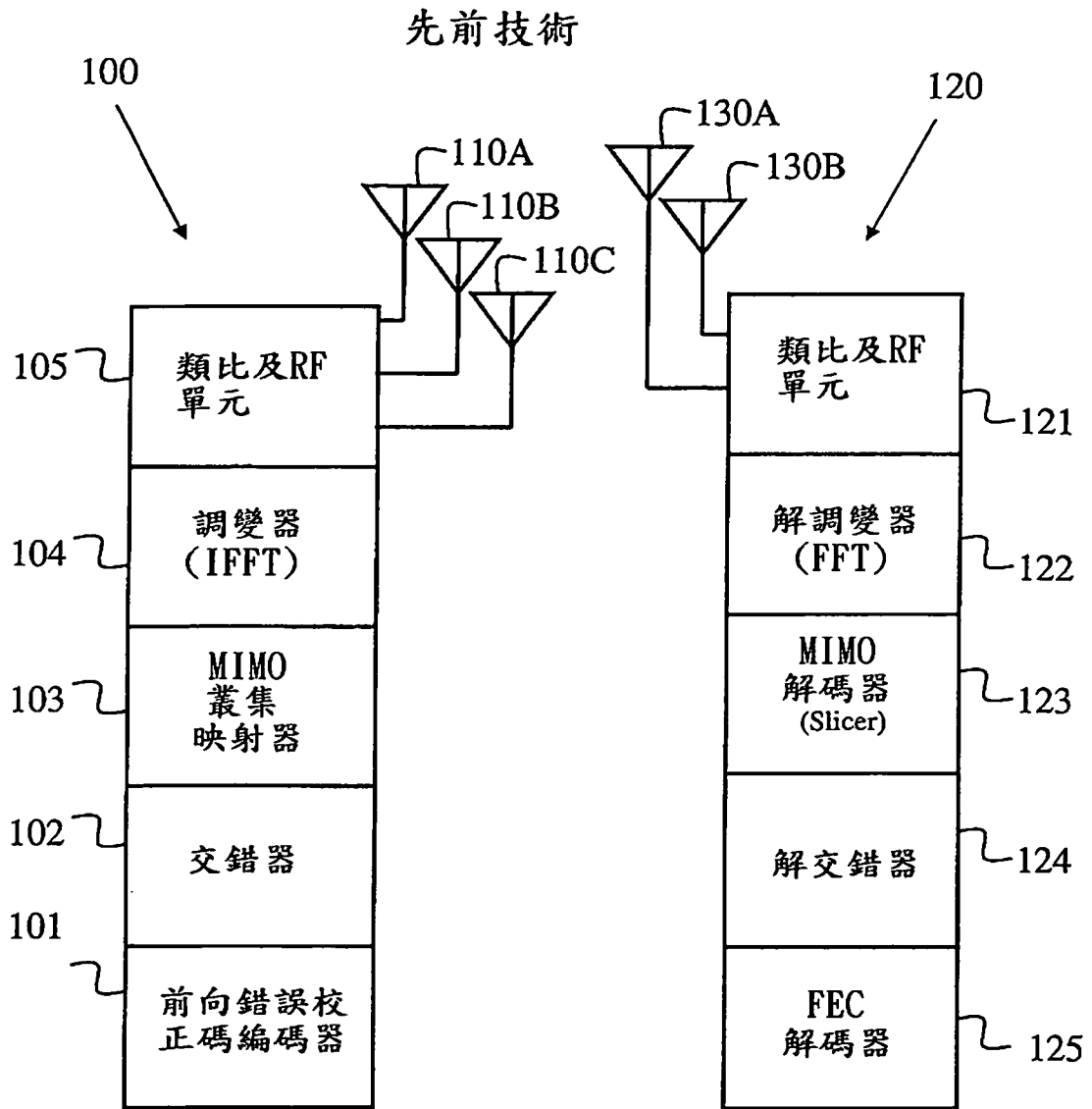
6. 如申請專利範圍第5項所述之方法，其中於 $t_1$ 之該單一行與單一系列內搜尋該等點之步驟係利用(exploit)該葛雷碼運算法，且其中係由於所述對稱性該等所要被搜尋之點的個數減少。
- 5 7. 如申請專利範圍第2項所述之方法，其中該等空間流利用編碼調變與一前向錯誤校正(forwarded error correction)運算法來被實施位元交錯(bit interleaved)，且其中該解碼係以下其中之一：軟量度解碼(soft metrics decoding)、硬量度解碼(hard metrics decoding)
- 10 。
8. 如申請專利範圍第7項所述之方法，其中該前向錯誤校正運算法係以下其中之一：一捲積碼(convolutional code)、一低密度奇偶校驗(low density parity check)、一渦輪碼(turbo code)。
- 15 。
9. 一種多輸入多輸出(MIMO)OFDM最大似然解碼器中之降低計算複雜性之裝置，包含：
- 用以於一通道矩陣H中接收複數個空間流 $t_1, \dots, t_N$ 之手段，其中 $N > 1$ 並是空間流之個數；
- 用以從 $t_N$ 至 $t_2$ ，搜尋每一空間流之所有可能傳送點之手段，其中 $t_2$ 內之每一點係產生一個以空間流 $t_1$ 之傳送點表示之一維問題；
- 用以分解第一空間流 $t_1$ 之x及y分量之手段，藉此轉換一

個二維問題成兩個一維問題，且其中於 $t_1$ 內該等要被搜尋之點係在單一行與單一系列之中；以及

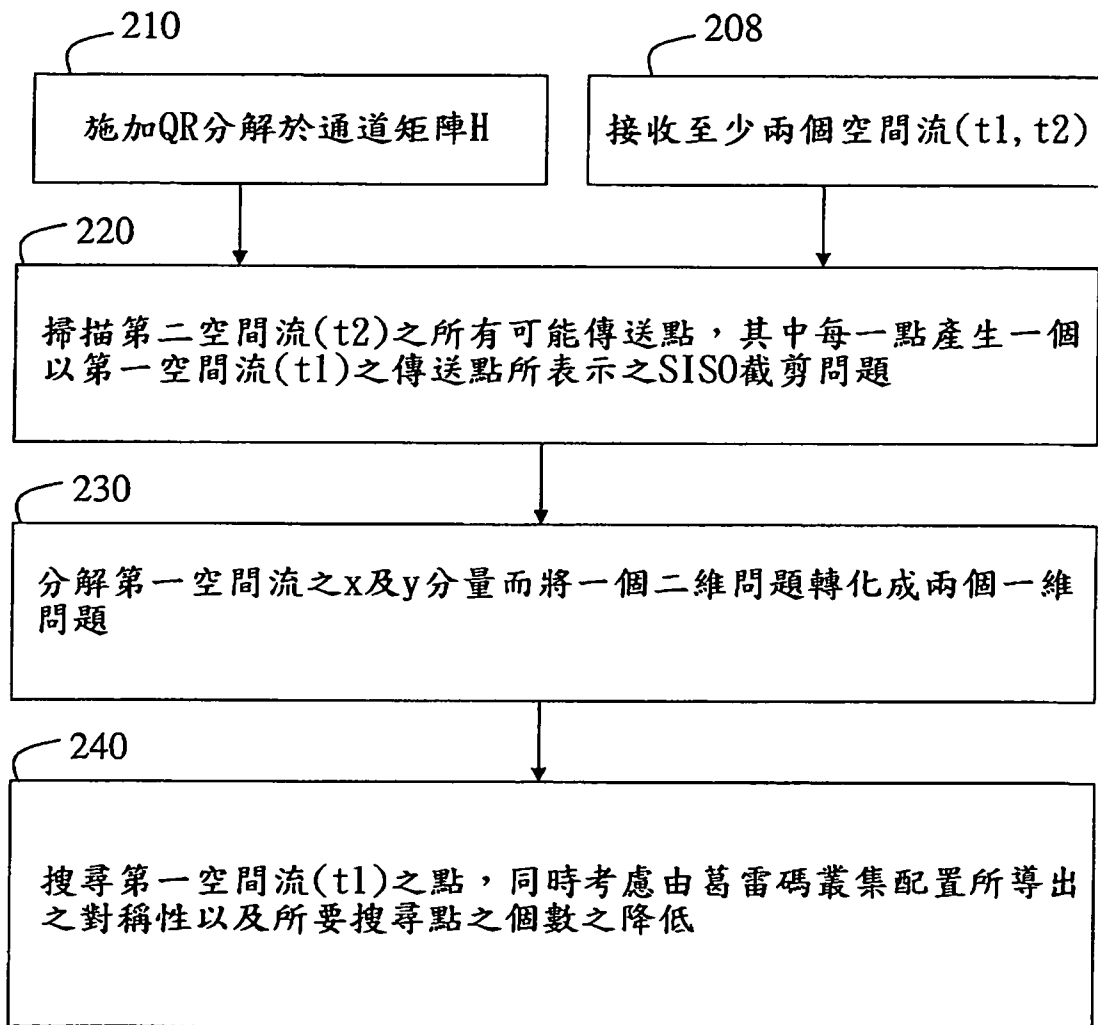
用以於 $t_1$ 之該單一行與單一系列內搜尋該等點之手段。

- 5
10. 如申請專利範圍第9項所述之裝置，更包含：在接收該等至少兩個空間流之前，用以於一歐基里德距離表示式 $d(t)$ 上實施一轉換以大幅降低 $d(t)$ 之複雜性之手段；以及用以在 $H$ 矩陣上實施QR分解之手段；其中該轉換係由 $R$ 矩陣所實施。
- 10
11. 如申請專利範圍第9項所述之裝置，其中葛雷碼係用於訊號叢集(signal constellation)之建立過程，且其中用以搜尋該第一空間流之剩餘點之手段係按照該葛雷碼運算法來實施該搜尋，且其中係由於所述對稱性該等所要被搜尋之點的個數減少。

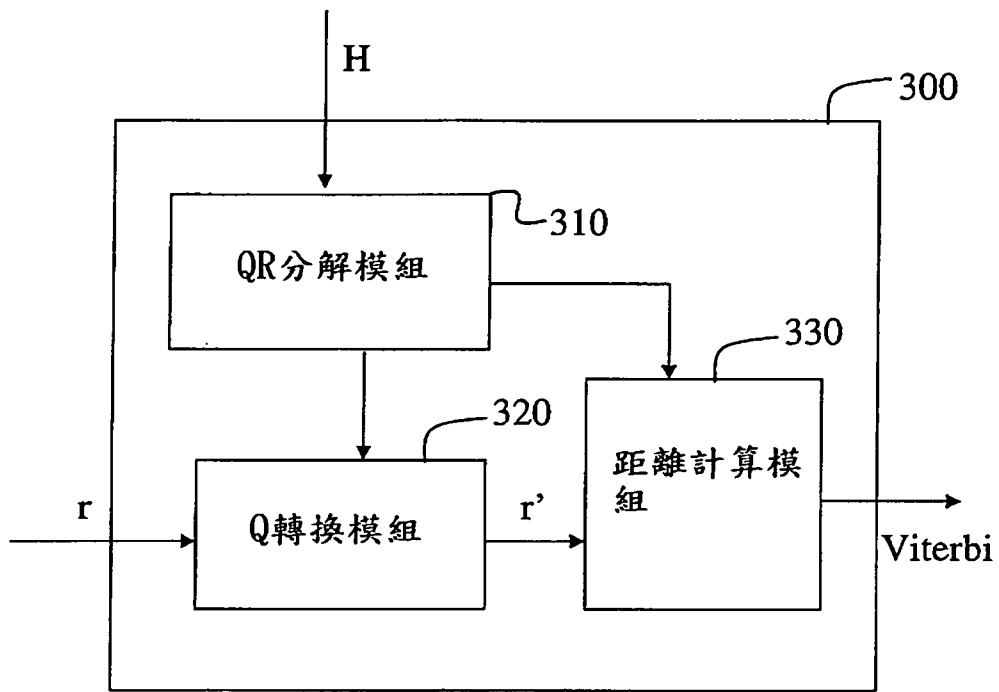
十一、圖式：



第1圖

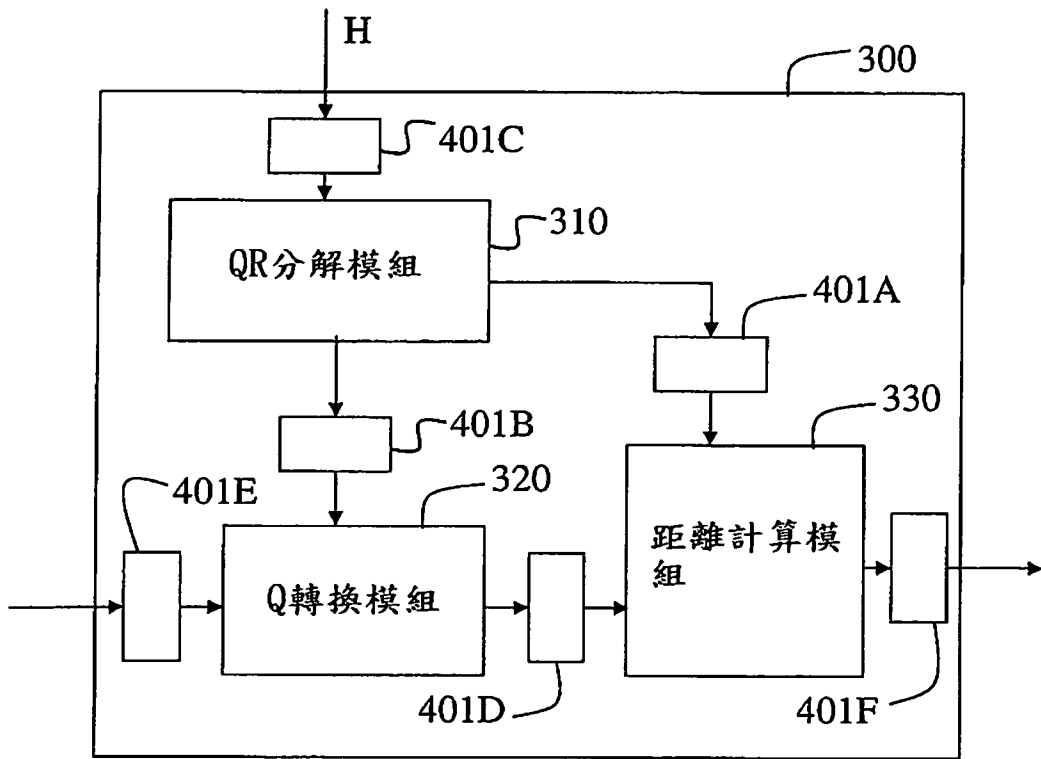


第2圖

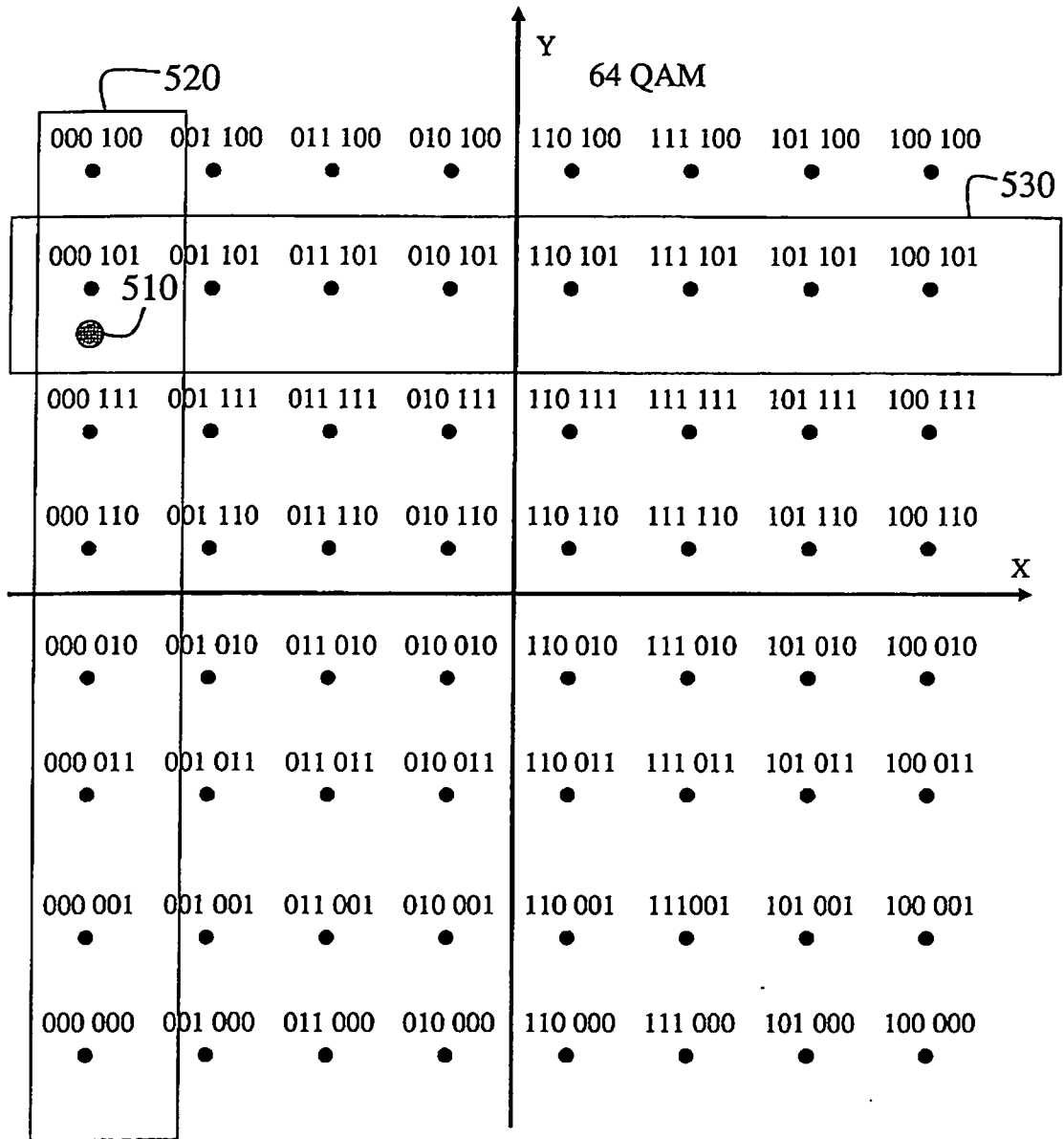


第3圖

2009/01/29



第4圖



第5圖