

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：96106241

※ 申請日期：96.2.16

※IPC 分類：H04B 7/04 (2006.01)

H04B 7/005 (2006.01)

G06F 1/18 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

具相等功率傳輸的非對稱波束形成方法、裝置及系統

SYSTEM, APPARATUS, AND METHOD FOR ASYMMETRICAL
BEAMFORMING WITH EQUAL-POWER TRANSMISSIONS

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

荷蘭商皇家飛利浦電子股份有限公司

KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.

代表人：(中文/英文)

J L 凡 德 渥

VAN DER VEER, J. L.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

荷蘭愛因和文市格羅尼渥街1號

GROENEWOUDSEWEG 1, 5621 BA EINDHOVEN, THE
NETHERLANDS

國 籍：(中文/英文)

荷蘭 THE NETHERLANDS

三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

瑪尼莎 苟旭

GHOSH, MONISHA

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

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：

1. 美國；2006年02月22日；60/775,589

2. 美國；2006年05月30日；60/809,474

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.

2.

☐ 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：

本發明提供在一具有 N_T 個傳輸天線 (102_i) 及 N_R 個接收天線 (104_j) (其中 $N_T > N_R$) 之非對稱系統無線通信系統 (400) 中用於波束形成的複數個具體實施例，其在沒有可察覺之效能損失下，確保每一天線上的傳輸功率相同。此外，提供一種在一 OFDM 系統中選擇少於頻率格 (frequency bin) 之波束形成向量的技術。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (2) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

(無元件符號說明)

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】

本發明係關於在無線網路中促成橫跨所有天線之傳輸功率相同的非對稱波束形成。

【先前技術】

當多重天線可用時，使用頻道矩陣之奇異值分解(SVD)的波束形成係一熟知方法用於改善效能。當傳輸及接收天線之數目相同時，該波束形成矩陣促使來自每一天線的傳輸功率相同。然而，許多情況中，傳輸天線數目(N_T)大於接收天線數目(N_R)。此一情形下，僅使用對應於最大奇異值之特徵向量的子集將引發橫跨天線之傳輸功率不相等。由於大部分傳輸鏈係峰值功率限制，所以此情形並非所要的。

【發明內容】

本發明提供用以實施促成一非對稱系統中橫跨所有天線之傳輸功率相同之波束形成的若干技術具體實施例。

從多重傳輸天線至多重接收天線之波束形成係一用以擷取頻道分集的熟知方式。當傳輸天線數目(N_T)等於接收天線數目(N_R)時，已知使用波束形成之頻道矩陣的特徵向量係最佳策略。在非對稱情形($N_T > N_R$)下，普遍使用之方法為：挑選對應於最大特徵值之特徵向量當作波束形成向量。此途徑之問題為：此引發來自每一天線的傳輸功率不相等。由於大部分情況中，RF鏈係峰值功率限制，所以此將為一問題。

亦即，當一多重天線發射器中使用多重RF前端時，讓每一鏈傳輸相同功率為一好辦法。因為大部分RF放大器係由峰值功率加以限制，因而不易增量一鏈之功率同時降低另一鏈之功率以保持總傳輸功率的恆定。對於正交分頻多工(OFDM)系統而言，更是如此，其中該信號自然具有一大的峰值與均值比，而且RF放大器具有一後退操作點(back-off)，以保持其在線性範圍中操作。

所擁有之傳輸天線多於接收天線的最近使用之波束形成方法其每一傳輸鏈具有不相等傳輸功率。對於具有一單一傳輸流之 $N_T \times 1$ 而言，相等功率傳輸的問題已解決，見K. K. Mukkavilli、A. Sabharwal、E. Erkip及B. Aazhang之"有關多重天線系統中具有有限速率回饋之波束形成"，IEEE傳輸資訊理論，第49卷，第10號，第2562至2579頁，2003年10月，以及D. J. Love及R. W. Heath二世之"多重輸入多重輸出無線系統之Grassmanian波束形成"，IEEE傳輸資訊理論，第49卷，第10號，第2735至2747頁，2003年10月。

然而，具有一傳輸流以上之問題尚未解決。

本發明提供用於非對稱波束形成之若干具體實施例，其在沒有可察覺之效能損失下，確保每一天線上的傳輸功率相同。此外，提供一種在一OFDM系統中選擇少於頻率格之波束形成向量的技術。此後者之技術在回饋該等向量以取代假設該發射器具有頻道知識並可計算該等向量的一具體實施例中很有用。

該等較佳具體實施例提供包含以下之技術：

第1技術：蠻力正規化；

第2技術：量子化至僅 $\pm 1 \pm j$ 個值；

第3技術：根據無法運作機率之最佳化；

第4技術：混合最佳化；以及

第5技術：橫跨頻率域之最佳化。

本發明同時應用於開放及封閉迴路系統，亦即，具有一擁有頻道知識之發射器的前者估計 Q ，並且使用前述技術之一調整 Q ，而且具有該接收器之後者執行此等動作。

【實施方式】

在以下詳細說明中，將參考附圖，其僅藉由範例而顯示可實行本發明之特定封閉迴路具體實施例。熟習此項技術者將了解：此僅為示範，而且不具有限制本發明之應用的任何意義，例如：此處揭示之個別元件的定位及配置可加以修正，而不致悖離如所附申請專利範圍中具體實施之本發明的精神及範疇。亦即，詳細說明不具有任何限制意義，而且本發明之範疇僅由所附申請專利範圍及其等效範圍加以定義，例如：該發射器可估計及調整 Q 。在該等圖式中，類似數字代表相同或相似之所有功能性。

本發明提供用以獲得空間分集優點之複數個低複雜度技術，其係藉由多重傳輸天線波束形成及多重接收天線組合而提供。本發明之較佳具體實施例的波束形成技術全部要求該發射器之頻道資訊。

圖1說明一包括兩無線台101、105之封閉迴路，其可為一包含行動台(膝上型電腦、個人數位助理(PDA))之無線

區域網路(WLAN)的一部分，而且可為此類WLAN之接取點。該等無線台101、105可為廣域無線網路及無線個人網路的一部分。此等台101、105可依照一無線標準(例如IEEE 802.11或任何其他此類標準)，此項符合係部分或完全。然而，無線台101、105各具有複數個天線，而且在本發明中，假設該數目為非對稱。

給定具有 N_T 個傳輸天線及 N_R 個接收天線的一傳輸波束形成及接收組合之多重天線系統(開放或封閉迴路)，假設：其中傳輸 N_R 個資料流，而且定義該波束形成矩陣為 Q 。然後該信號模型給定為：

$$\underline{r} = H \underline{Q} \underline{x} + \underline{n}$$

其中 $\underline{n}$ 為一雜訊向量，接收向量 $\underline{r}$ 為一 $N_R \times 1$ 向量，頻道矩陣 H 103為一 $N_R \times N_T$ 矩陣，波束形成矩陣 Q 為一 $N_T \times N_R$ 矩陣，而且 $\underline{x}$ 為一 $N_R \times 1$ 向量。假設頻道 H 完全已知。傳輸向量為 $\underline{y} = \underline{Q} \underline{x}$ ，其為一 $N_T \times 1$ 向量。在一OFDM系統中，對每一頻率格重複以上信號模型。在一頻率選擇頻道中，每一頻率格之 H 及 Q 為相異。

在圖1中，採用一封閉迴路系統100，而且在台(STA)101與105間傳輸目前頻道狀態資訊，以便降低解碼複雜度。STA 101及105各包含多重天線，各別為 N_T 102_i及 N_R 104_j，並且一起形成系統100。作為此用途之通信頻寬稱為"回饋頻寬"，而且於藉由一頻道估計器106估計後，在一回饋頻道107上從該接收器105回饋至該發射器101，該頻道估計器以一波束形成矩陣 Q 表示該目前頻道狀態資訊，

在一些較佳具體實施例中，該波束形成矩陣 Q 係使用奇異值分解(SVD)加以決定。該發射器101使用該波束形成矩陣 Q 將每一外傳信號傳輸至多重空間頻道。

若一給定矩陣 A 之特徵向量 P 的矩陣並非一方形矩陣(例如：矩陣 $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 僅具有單一特徵向量 $[1, 0]$)，則 P 將不具有一矩陣倒式，因而 A 不具有一特徵分解。然而，若 A 為一 $m \times n$ 實數矩陣，其中 $m > n$ ，則 A 可使用具有 $A = UDV^T$ 形式的一所謂之奇異值分解加以寫定。此處， U 為一 $m \times n$ 矩陣，而且 V 為一 $n \times n$ 方形矩陣，其兩者皆具有正交行，所以 $U^T U = V^T V = I$ ，而且 D 為一 $n \times n$ 對角矩陣。對於一複數矩陣 A ，該奇異值分解為變成 $A = U^H D V$ 形式的一分解，其中 U 及 V 為單位矩陣， U^H 為 U 之共軛置換，而且 D 為一對角矩陣，其元素為該原始矩陣之奇異值。若 A 為一複數矩陣，則永遠存在具有正奇異值之此一分解。

令 $H = U S V^H$ 為頻道矩陣 H 之SVD分解。則 Q 之最佳選擇為 $Q = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_R]$ ，其中 V_i 為矩陣 V 之第 i 行。來自每一天線之傳輸功率須相同的要求轉換成波束形成矩陣 Q 之每一列具有相同功率的約束。由於特徵向量 V_i 為正交，當 $R = T$ 時，傳輸向量 $\underline{v}$ 之每一元素具有相同傳輸功率。然而，當 $R < T$ 時，此不再為真。

圖2說明一種根據本發明之方法200。於步驟201，估計頻道 H 。在一較佳具體實施例中，提供一種經修改之頻道估計器/功率等化器[回饋]裝置300。然而，當一發射器未要求任何回饋時，僅提供一經修改之頻道估計器/功率等

化器裝置。任一情況中，該裝置包含一記憶體301，並於步驟201將 H 301.1儲存其中。於步驟202，決定一波束形成矩陣 Q 301.2(如以上所述)，並且儲存在該記憶體301中。其次，於步驟203，使用下列技術之一調整波束形成矩陣 Q 301.2(各包括本發明的一個別之較佳具體實施例)以確保：傳輸向量具有相等功率分量。經調整之波束形成矩陣301.3儲存在該裝置300的記憶體301中。

第1技術：蠻力正規化。

由 $Q=[V_1 \ V_2 \ \dots \ V_R]$ 開始。然後將 Q 之每一列正規化成單位功率。結果之波束形成矩陣確保 y 的相等功率分量。

第2技術：量子化至僅 $\pm 1 \pm j$ 個值。

再次，由以上定義之 Q 開始。則 $Q1 = \text{sign}[\text{Re}(Q)] + j\text{sign}[\text{Im}(Q)]$ 為一波束形成矩陣，其將不僅具有相等功率分量，而且由於每一分量僅可為4個值之1，導致使用較少位元作為回饋。

第3技術：根據無法運作機率之最佳化。

用以獲得一具有相等功率列之波束形成矩陣的前述技術並未合併任何最佳性準則。由 Q 之每一元素為 $\pm 1 \pm j$ 的假設開始。則用以選擇 Q 之準則為：最大化 $|\det(HQ)|$ 。由於有 $4^{N_T N_R}$ 個可能之 Q 矩陣，所以一蠻力搜尋將太複雜。較佳之簡化包含：(1)由於 Q 之相位無關緊要，所以可將 Q_{11} 任意設定成 $1+j$ ；及(2)僅搜尋彼此正交之行。使用前述兩項較佳之簡化，可戲劇性縮減搜尋空間。例如，在一 4×2 情況中，僅有9向量正交於一具有項目 $\pm 1 \pm j$ 之向量。因此該搜

尋空間從65536縮減至 $64 \times 9 = 576$ 。按：在此方法中，不需執行任何SVD。

第4技術：混合最佳化。

以上第3技術仍然要求許多可能性之中的最佳化。一進一步簡化係對該第一向量使用第2技術，亦即：量子化該SVD矩陣的第一向量，然後使用第3技術決定其他向量。對於一 4×2 情況，此要求執行該SVD，其後為9項可能選擇之中的一最佳化。

第5技術：橫跨頻率域之最佳化。

若選定 p 個頻道頻率格的一單一波束形成矩陣，則該最佳化準則將選擇最大化 $\sum_{i=1}^p |\det(H_i Q)|$ 之 Q 。該搜尋空間與前面相同。再次，不要求任何SVD。

現在參閱圖2，說明一種用以決定在一包含一接收器105之封閉迴路中的一波束形成矩陣 Q 以及將 Q 回饋至一發射器101之方法。於步驟201，該接收器估計一矩陣 H 中之頻道狀態。然後，於步驟202，從 H (如以上所述)估計一波束形成矩陣 Q 。於步驟203，使用本發明之第1至第5的任何技術調整矩陣 Q ，使分量具有相等功率，而且於步驟204，將經調整之波束形成矩陣回饋至該發射器。

圖3說明根據本發明的一種在一封閉迴路中用於頻道估計及回饋之裝置300，其包含一記憶體301，用以儲存頻道狀態矩陣 H 及相關資料301.1，以及該原始波束形成矩陣及相關資料301.2，以及根據本發明之301.2的經調整之波束形成矩陣及相關資料。該裝置300進一步包含一功率等化

器組件302，用以接受頻道 H 之接收信號303；及包含一頻道估計器模組302.1，用以從其中產生頻道矩陣 H ，並將其儲存在該記憶體301中，當作頻道狀態矩陣/資料301.1。該功率等化器組件302進一步包含一波束形成矩陣調整模組302.2，其形成一初始波束形成矩陣，然後根據本發明之第1至5技術的一預選技術而調整203該初始波束形成矩陣，並將經調整之矩陣 Q 及相關資料儲存在該記憶體301中，當作經調整之波束形成矩陣/資料301.3。最後，該功率等化器組件包含一回饋模組302.3，其將經調整之波束形成矩陣 Q 當作回饋信號304經由該回饋頻道107回饋至該發射器101。

圖4說明一種封閉迴路非對稱通信系統400，其包含至少一發射器101及一接收器105，該接收器經修改以介接至一根據本發明所配置之頻道估計器/回饋裝置300，而且提供其來自該發射器101有關頻道狀態 H 103的接收信號303。該頻道估計器/回饋裝置300估計該頻道、建立頻道矩陣 H 及相關資料並將其儲存在該記憶體301.1中，從該頻道矩陣 H 建立一初始波束形成矩陣並將其儲存在該記憶體301.2中，而且根據本發明之第1至5技術的一預選技術調整203該初始波束形成矩陣，並將經調整之波束形成矩陣 Q 儲存在該記憶體301.3中。最後，該頻道估計器/回饋裝置300使用該回饋頻道107將經調整之波束形成矩陣 Q 304回饋204至該發射器101。如以上所指示，該通信系統400可完全或部分遵守任何通信標準(例如IEEE 802.11)而且可為任何類

型之無線通信網路的一部分。本發明傾向應用於所有非對稱無線通信網路/系統。

圖5說明在一使用位元交錯編碼調變之頻率選擇系統中用以量子化一 4×2 系統之各種技術的效能。可見到：特別在較高速率(速率 $5/6$ 64QAM)，相較於具有不相等傳輸功率之最佳波束形成，該等技術擁有極小效能損失。

雖然本發明已併同某些具體實施例加以說明，亦即封閉迴路，應了解：熟習此項技術者將瞭解：其可進行修改及變化，而不致悖離如所附申請專利範圍中具體實施之本發明的精神及範疇。尤其，該發射器可具有頻道知識，而且在未要求來自該接收器之任何回饋下執行該方法。

【圖式簡單說明】

圖1說明具有一回饋頻道的一非對稱通信系統；

圖2說明根據本發明決定一封閉迴路非對稱通信系統的一波束形成矩陣之方法；

圖3說明一種在一非對稱通信系統中決定及回饋具有相等功率的一波束形成矩陣之封閉迴路裝置；

圖4說明根據本發明修改之非對稱封閉迴路通信系統；以及

圖5說明用於量子化之各種技術的效能。

【主要元件符號說明】

100	封閉迴路系統
101	發射器
102i	傳輸天線

103	無線頻道
104j	接收天線
105	接收器
106	頻道估計器/回饋
107	回饋頻道
300	頻道估計器/功率等化器/[回饋裝置]
301	記憶體
301.1	頻道狀態矩陣/資料
301.2	波束形成矩陣/資料
301.3	經調整之波束形成矩陣/資料
302	功率等化組件
302.1	頻道估計器模組
302.2	波束形成矩陣調整模組
302.3	回饋模組
303	接收信號
304	回饋信號
400	封閉迴路非對稱通信系統

十、申請專利範圍：

1. 一種用於經由一無線頻道(channel) H 上的一向量之非對稱波束形成(beamforming)傳輸的方法，其包括：

提供具有 N_T 個傳輸天線(transmit antennae)及 N_R 個接收天線的一無線通信系統， $N_T > N_R > 0$ ；

以一預選之技術調整一波束形成矩陣 Q ，使 Q 之每一列(row)具有相同功率；以及

由一發射器(transmitter)使用經調整之該波束形成矩陣經由該頻道 H 將該向量以 N_R 個資料流(data stream)加以傳輸，

其中該等經傳輸之 N_R 個資料流具有相等功率。

2. 如請求項 1 之方法，其中：

該預選之一調整技術係由預選的蠻力(brute force)正規化(normalization)所組成；以及

在該發射器執行該調整。

3. 如請求項 1 之方法，其中該調整進一步包括從蠻力正規化、量子化至 $\pm 1 \pm j$ (其中 $j > 0$)、根據無法運作機率(outage probability)之最佳化、混合(hybrid)最佳化及橫跨頻率域之最佳化所組成之群組中預選一調整技術。

4. 如請求項 3 之方法，其中該調整進一步包括：

在一接收器處估計該頻道 H ；

在該接收器處執行該調整；以及

將經調整之該波束形成矩陣回饋至該發射器。

5. 如請求項 4 之方法，進一步包括由該接收器組合該等經

傳輸及經波束形成之 N_R 個資料流。

6. 一種用於具有 N_T 個傳輸天線及 N_R 個接收天線之多重天線系統的波束形成裝置，其中 $N_T > N_R > 0$ ，其包括：

一記憶體，其中儲存用以等化波束形成功率的一資訊；以及

一功率等化器組件，用以接收經接收之信號、用以根據一預選之等化技術從其中估計用以等化橫跨 N_R 個資料流之波束形成傳輸功率的資訊，及用以將其儲存在該記憶體中。

7. 如請求項6之裝置，其中該預選技術係從蠻力正規化、量子化至 $\pm 1 \pm j$ (其中 $j > 0$)、根據無法運作機率之最佳化、混合最佳化及橫跨頻率域之最佳化所組成之群組中選出的一波束形成矩陣調整技術。

8. 如請求項7之裝置，其中：

該記憶體包括一頻道狀態資訊、一波束形成資訊及一經調整之波束形成資訊；以及

該功率等化器組件包括一頻道估計器模組，其用以估計該頻道狀態資訊並將其儲存在該記憶體中；一波束形成矩陣調整模組，其用以決定該波束形成資訊並將其儲存在該記憶體中，及調整供等化 N_R 個資料流之傳輸功率用的經調整之該波束形成資訊並將其儲存在該記憶體中。

9. 如請求項8之裝置，其中該功率等化器組件進一步包括一回饋模組，用以提供包含該調整之該波束形成資訊的

回饋信號。

10. 一種傳輸波束形成及接收組合多重天線系統，其包括：

至少一接收器，其包含 N_R 個接收天線， $N_T > N_R \geq 1$ ；

至少一發射器，其包含 N_T 個傳輸天線，用於將 N_R 個資料流之波束形成傳輸至該 N_R 個接收天線；以及

至少一頻道估計器/功率等化器裝置，其根據一預選之等化技術而提供將由該至少一發射器所使用的經調整之一波束形成矩陣，以將橫跨該等所傳輸之 N_R 個資料流等化一波束形成傳輸功率，並將其儲存在一記憶體中。

11. 如請求項10之系統，其中該預選之等化技術係一從下列各項組成之群組中選出的用以輸出一經調整之波束形成矩陣的技術：蠻力正規化、量子化至 $\pm 1 \pm j$ (其中 $j > 0$)、根據無法運作機率之最佳化、混合最佳化及橫跨頻率域之最佳化。

12. 如請求項11之系統，其中該至少一頻道估計器/功率等化器裝置可操作連接至該至少一發射器，而且該預選之等化技術係蠻力正規化。

13. 如請求項11之系統，其中該至少一頻道估計器/功率等化器裝置進一步包括一回饋模組，其可操作連接至該至少一接收器，該回饋模組經組態以提供包括經調整之該波束形成矩陣的回饋信號，其經由一回饋頻道回饋至該發射器，藉以用來等化橫跨該等傳輸之 N_R 個資料流的波束形成傳輸功率。

14. 一種波束形成發射器裝置，其包括：

N_T 個傳輸天線，用於經由具有 N_R 個資料流的一頻道而將一向量作波束形成傳輸至 N_R 個接收天線，其中 $N_T > N_R > 0$ ；

一功率等化器組件，其決定該頻道之一估計及一波束形成矩陣，而且從其中調整該波束形成矩陣，以便根據一蠻力等化技術而等化橫跨 N_R 個資料流之波束形成傳輸功率；以及

一發射器，其利用經調整之該波束形成矩陣將該向量以具有相等功率的 N_R 個資料流加以傳輸。

15. 一種組合接收器裝置，其包括：

N_R 個接收天線，用以接收由一具有 N_T 個傳輸天線之發射器經由具有 N_R 個資料流的一頻道並經一波束形成傳輸之一向量，並且將其組合，其中 $N_T > N_R > 0$ ；以及

一頻道估計器/功率等化器/回饋裝置，其根據一預選之等化技術而提供待回饋以便由該發射器所使用的經調整之一波束形成矩陣，以等化橫跨該等所傳輸之 N_R 個資料流之一波束形成傳輸功率，其中經調整之該波束形成矩陣之每一列具有相等功率。

16. 如請求項15之接收器裝置，其中該預選等化技術係一從下列各項組成之群組中選出用以建立經調整之該波束形成矩陣的技術：蠻力正規化、量子化至 $\pm 1 \pm j$ (其中 $j > 0$)、根據無法運作機率之最佳化、混合最佳化及橫跨頻率域之最佳化。

十一、圖式：

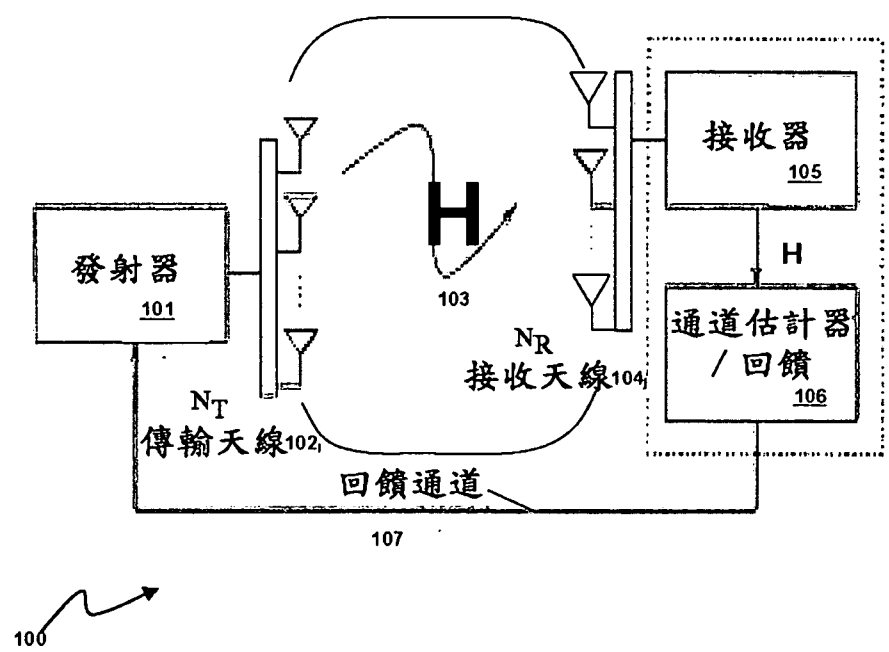
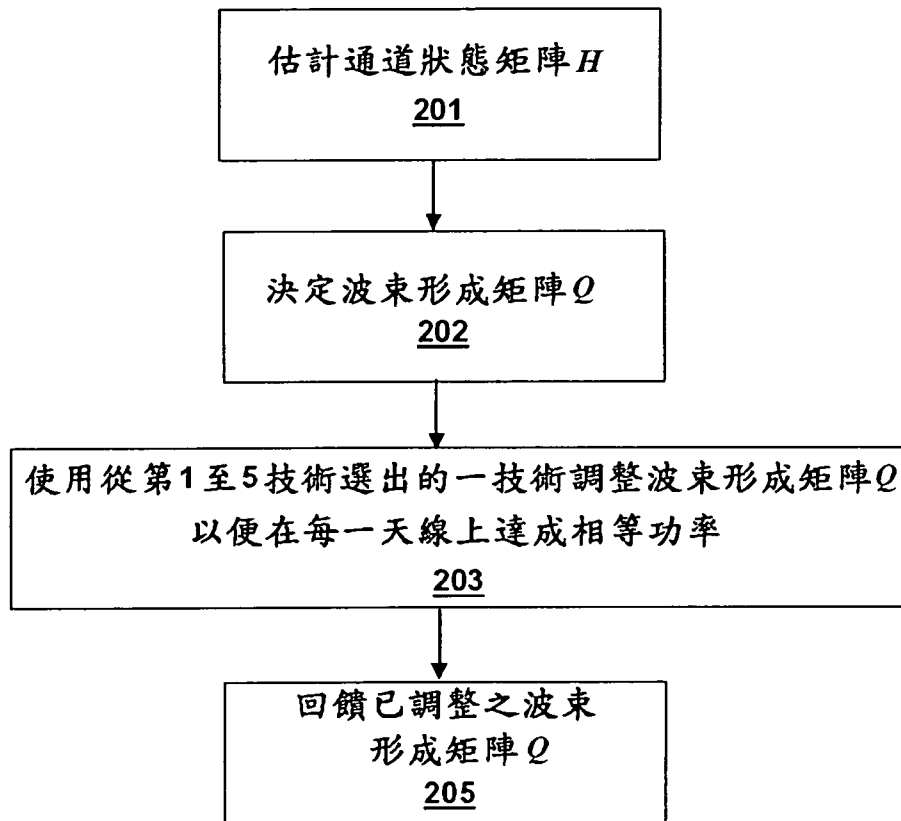


圖 1



200 ↗

圖2

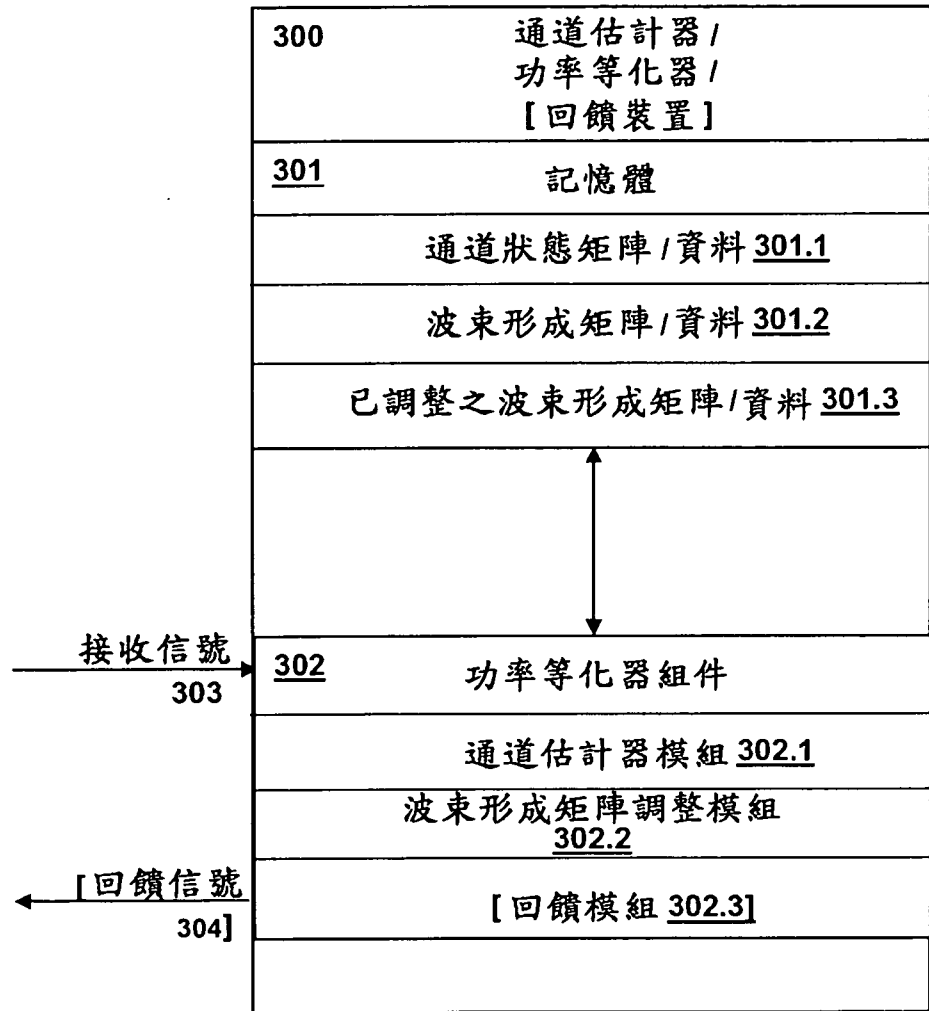


圖 3

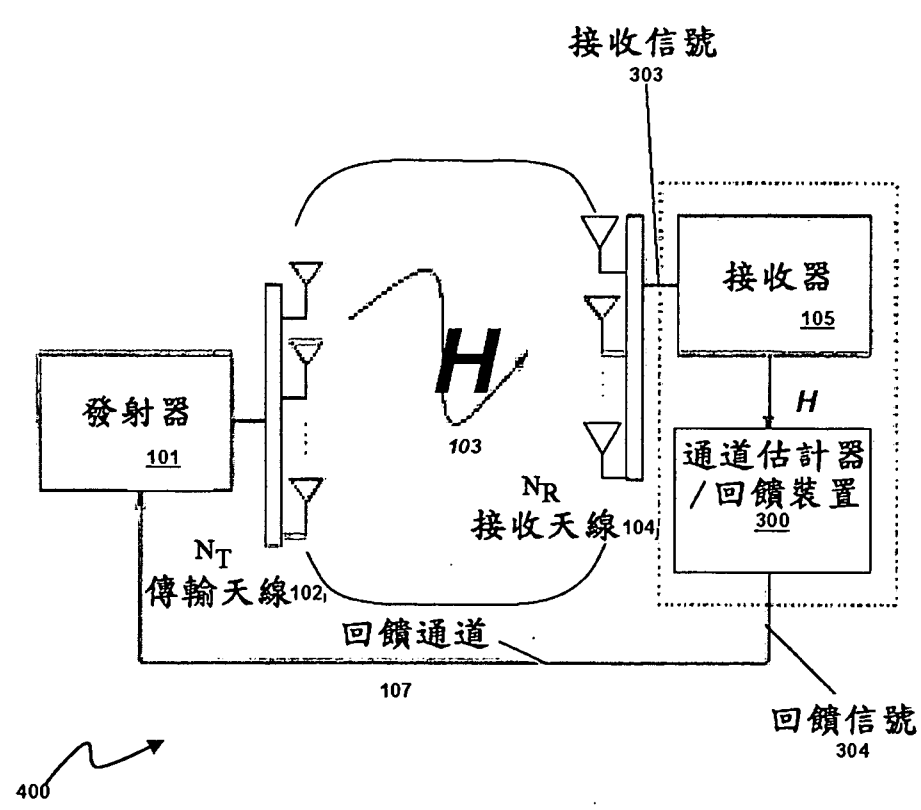


圖 4

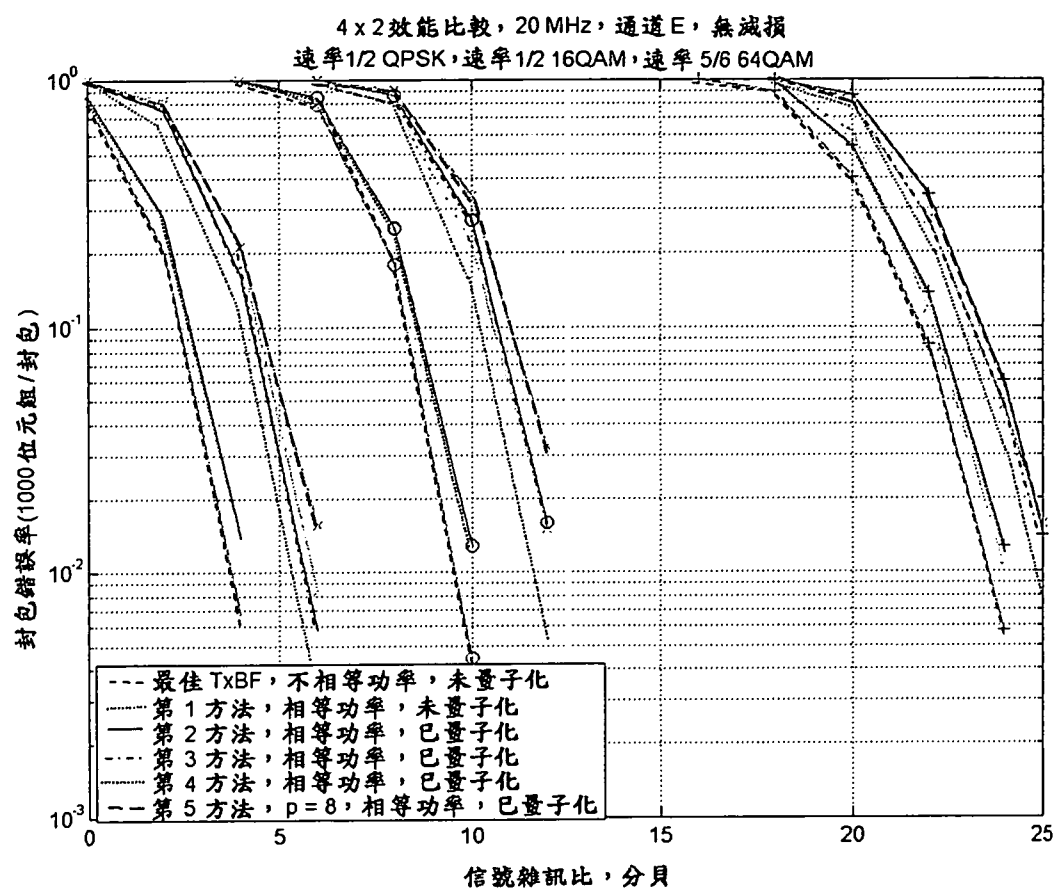


圖 5