



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201210227 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：100141347

(22)申請日：中華民國 94 (2005) 年 06 月 30 日

(51)Int. Cl. : **H04B7/08 (2006.01)**

(30)優先權：2004/06/30 美國 10/882,491

(71)申請人：高通公司 (美國) QUALCOMM INCORPORATED (US)
美國

(72)發明人：沃倫司 馬克 S WALLACE, MARK S. (US) ; 沃敦 傑 羅德尼 WALTON, JAY
RODNEY (US) ; 哈瓦德 史帝夫 J HOWARD, STEVEN J. (US)

(74)代理人：陳長文

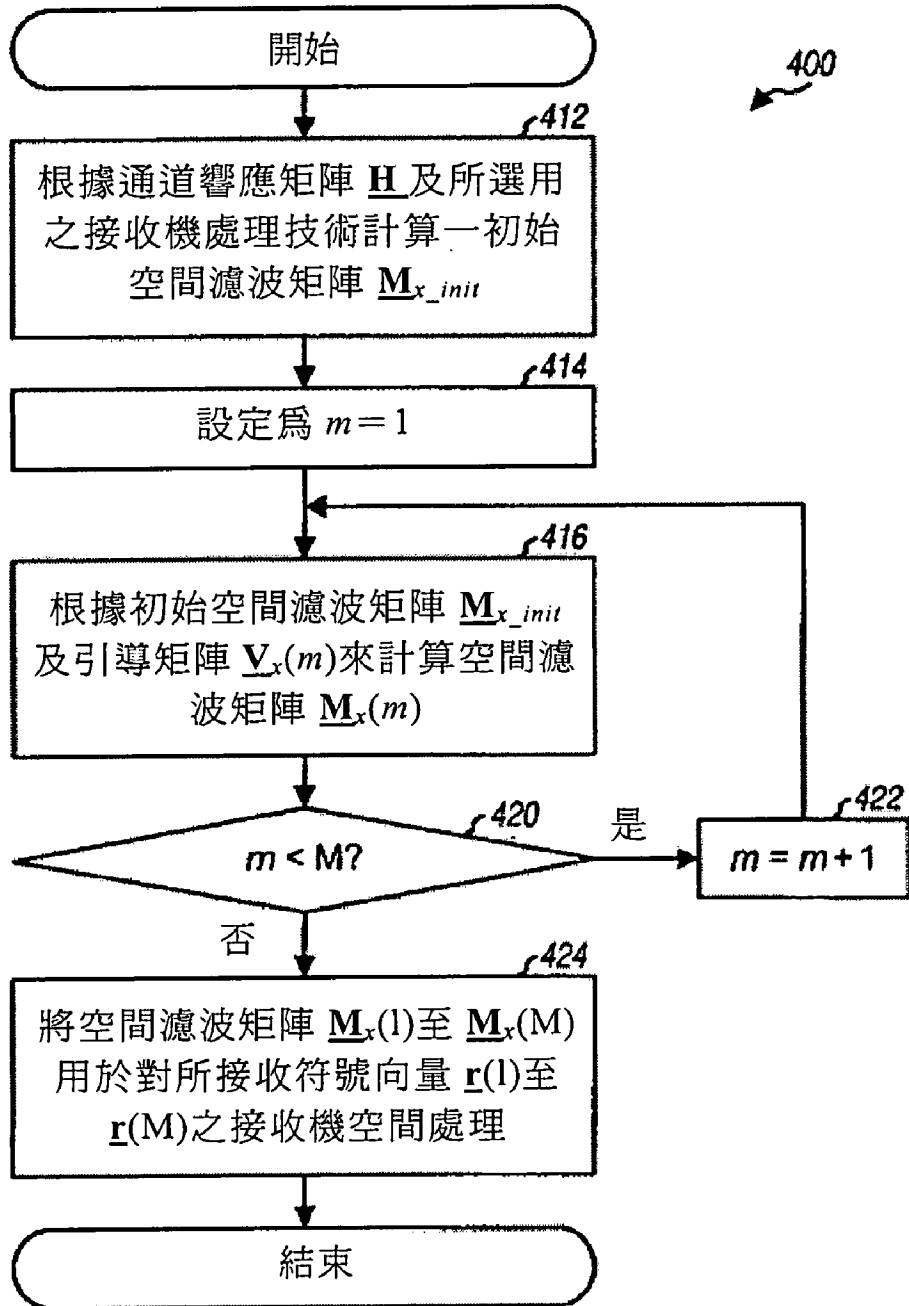
申請實體審查：有 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：7 共 47 頁

(54)名稱

於一多輸入多輸出 (MIMO) 通信系統內供引導傳送差異之空間濾波矩陣之有效計算
EFFICIENT COMPUTATION OF SPATIAL FILTER MATRICES FOR STEERING TRANSMIT
DIVERSITY IN A MIMO COMMUNICATION SYSTEM

(57)摘要

本發明揭示用於有效地計算空間濾波矩陣之技術。若一 MIMO 通道在一系列傳輸跨度內相對為靜態，則該 MIMO 通道之各通道響應矩陣可高度相關。在此種情形中，可根據一個通道響應矩陣來導出一初始空間濾波矩陣，並可根據該初始空間濾波矩陣及用於每一傳輸跨度之引導矩陣來計算彼傳輸跨度之空間濾波矩陣。若 MIMO 通道不為靜態、但並不急劇變化，則各通道響應矩陣可部分地相關。在此種情形中，可為一個傳輸跨度 ℓ 導出一空間濾波矩陣，並用其來導出另一傳輸跨度 m 之初始空間濾波矩陣。可根據該初始空間濾波矩陣、例如使用一迭代程序來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣。





(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201210227 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：100141347

(22)申請日：中華民國 94 (2005) 年 06 月 30 日

(51)Int. Cl. : **H04B7/08 (2006.01)**

(30)優先權：2004/06/30 美國 10/882,491

(71)申請人：高通公司 (美國) QUALCOMM INCORPORATED (US)
美國

(72)發明人：沃倫司 馬克 S WALLACE, MARK S. (US) ; 沃敦 傑 羅德尼 WALTON, JAY
RODNEY (US) ; 哈瓦德 史帝夫 J HOWARD, STEVEN J. (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：7 共 47 頁

(54)名稱

於一多輸入多輸出 (MIMO) 通信系統內供引導傳送差異之空間濾波矩陣之有效計算
EFFICIENT COMPUTATION OF SPATIAL FILTER MATRICES FOR STEERING TRANSMIT
DIVERSITY IN A MIMO COMMUNICATION SYSTEM

(57)摘要

本發明揭示用於有效地計算空間濾波矩陣之技術。若一 MIMO 通道在一系列傳輸跨度內相對為靜態，則該 MIMO 通道之各通道響應矩陣可高度相關。在此種情形中，可根據一個通道響應矩陣來導出一初始空間濾波矩陣，並可根據該初始空間濾波矩陣及用於每一傳輸跨度之引導矩陣來計算彼傳輸跨度之空間濾波矩陣。若 MIMO 通道不為靜態、但並不急劇變化，則各通道響應矩陣可部分地相關。在此種情形中，可為一個傳輸跨度 ℓ 導出一空間濾波矩陣，並用其來導出另一傳輸跨度 m 之初始空間濾波矩陣。可根據該初始空間濾波矩陣、例如使用一迭代程序來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明概言之係關於通信，更具體而言，係關於對多輸入多輸出(MIMO)通信系統中資料傳輸之空間處理。

【先前技術】

MIMO系統在一發射實體處使用多(N_T)個發射天線並在一接收實體處使用多(N_R)個接收天線進行資料傳輸。一由該等 N_T 個發射天線及 N_R 個接收天線構成之MIMO通道可分解成 N_S 個空間通道，其中 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 。可使用該等 N_S 個空間通道並行地發射資料，以獲得更大之通量及/或另外獲得更高之可靠性。

每一空間通道可能會經歷各種不利的通道狀態，例如衰落效應、多路徑效應及幹擾效應。該等 N_S 個空間通道亦可能會經歷不同之通道狀態，並可獲得不同之信號對雜訊及幹擾比(SNR)。每一空間通道之SNR會決定其傳輸容量，傳輸容量通常係由一可在空間通道上可靠傳輸之特定資料傳輸率來量化。對於時變無線通道而言，通道狀態會隨時間變化，且每一傳輸通道之SNR亦隨時間變化。

為提高效能，MIMO系統可利用某種形式之回饋，以供接收實體用於評價該等空間通道並提供可表示每一空間通道之通道狀態或傳輸容量之回饋資訊。然後，發射實體可根據回饋資訊來調節每一空間通道上之資料傳輸。然而，由於各種原因，可能無法得到該回饋資訊。舉例而言，系統可能不支援來自接收實體之回饋傳輸，或者無線通道之

變化可能快於接收實體可對無線通道實施估計及/或發回回饋資訊之速率。總之，若發射實體並不知曉通道狀態，則其可能需要以一低速率來發射資料，以便甚至在最差情形通道狀態下資料傳輸亦可由接收實體可靠地解碼。此一系統之效能將取決於所預期之最差情形通道狀態，此極不為吾人所樂見。

為提高效能(例如，當無法得到回饋資訊時)，發射實體可執行空間處理，以使資料傳輸在一延長的時間週期中不會觀測到最差情形通道狀態，如下文所述。因而，可對資料傳輸使用一更高之資料傳輸率。然而，對於發射實體及接收實體二者而言，該空間處理意味著複雜度增加。

因此，此項技術中需要具有在MIMO系統中有效地執行空間處理以提高效能之技術。

【發明內容】

本文說明用於有效地計算由一接收實體用於空間處理之空間濾波矩陣之技術。一發射實體可使用全通道狀態資訊(「全CSI」)或「部分CSI」傳輸經由一MIMO通道來發射資料，如下文所述。發射實體亦可利用引導傳送差異(STD)來提高效能。藉助STD，發射實體使用不同之引導矩陣執行空間處理，以使資料傳輸觀測到各有效通道之總體，而非在一長時間週期中停留在一「差」的通道實現上。接收實體針對全CSI或部分CSI傳輸及引導傳送差異來執行互補之接收機空間處理。若MIMO通道相對為靜態或者不急劇變化，則可有效地計算用於接收機空間處理之空

間濾波器。

若 MIMO 通道在一系列傳輸跨度(例如一系列符號週期或頻率子頻帶)內相對為靜態，則該 MIMO 通道在該等傳輸跨度內之各通道響應矩陣可高度相關。在此種情形中，可根據一通道響應矩陣及一所選之接收機處理技術來導出一初始空間濾波矩陣，如下文所述。然後，可根據該初始空間濾波矩陣及用於每一傳輸跨度之引導矩陣來計算在該靜態範圍內該傳輸跨度之空間濾波矩陣。

若 MIMO 通道不為靜態、但並不急劇變化，則不同傳輸跨度之通道響應矩陣可能部分地相關。在此種情形中，可為一給定之傳輸跨度 ℓ 導出一空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(\ell)$ ，並用其來導出另一傳輸跨度 m 之初始空間濾波矩陣。然後，可根據該初始空間濾波矩陣、例如使用一迭代程序來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(m)$ 。可在一系列所關心之傳輸跨度內重複該相同的處理，以便可使用每一新導出之空間濾波矩陣為另一傳輸跨度計算另一空間濾波矩陣。

可將該等引導矩陣定義成能夠簡化空間濾波矩陣之計算。下文將進一步詳細闡述本發明之各種態樣及實施例。

【實施方式】

在本文中，「實例性」一詞用於意指「用作一實例、例子或例解」。本文中闡述為「實例性」之任何實施例皆未必應視為好於或優於其他實施例。

圖 1 顯示一單載波 MIMO 系統 100 中一發射實體 110 及一接收實體 150 之簡單方塊圖。在發射實體 110 處，一發射(TX)

空間處理器120對資料符號(由一向量 $\underline{s}(m)$ 標記)執行空間處理，以產生發射符號(由一向量 $\underline{x}(m)$ 標記)。本文中所述「資料符號」係對應於資料之調變符號，「導頻符號」係對應於導頻(其係為發射實體及接收實體二者所預知之資料)之調變符號，「發射符號」係欲自一發射天線發送之符號，「接收符號」係自一接收天線獲得之符號，調變符號係一調變方案(例如M-PSK、M-QAM等等)所用信號星象圖中一點之複數值。空間處理係根據引導矩陣 $\underline{V}(m)$ 及可能其他矩陣來執行。發射符號由一發射單元(TMTR)122進一步調節來產生 N_T 個已調變信號，然後該等 N_T 個已調變信號自 N_T 個發射天線124經由一MIMO通道發射。

在接收實體150處，所發射之已調變信號由 N_R 個接收天線152接收到，且該等 N_R 個接收信號經過一接收單元(RCVR)154調節以獲得接收符號(由一向量 $\underline{r}(m)$ 標記)。然後，一接收(RX)空間處理器160使用空間濾波矩陣(由 $\underline{M}_x(m)$ 標記)對該等接收符號執行接收機空間處理(或空間匹配濾波)，以獲得「所偵測」資料符號(由一向量 $\hat{\underline{s}}(m)$ 標記)。所偵測資料符號係由發射實體110所發送資料符號之估計值。發射實體及接收實體處之空間處理將在下文中說明。

本文所述空間濾波矩陣計算技術既可用於單載波MIMO系統亦可用於多載波MIMO系統。多載波可使用正交分頻多工(OFDM)、離散多單音(DMT)、某些其他多載波調變技術、或某些其他構造來獲得。OFDM會有效地將整個系統頻寬劃分成多(N_F)個正交子頻帶，該等正交子頻帶亦稱

作音調、子載波、頻段、及通道。對於OFDM而言，每一子頻帶皆與一可使用資料來調變之相應子載波相關聯。

在MIMO系統100中，由發射實體110處之 N_T 個發射天線及接收實體150處之 N_R 個接收天線構成之MIMO通道可由一 $N_R \times N_T$ 維通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 來表徵，該 $N_R \times N_T$ 維通道響應矩陣 $\mathbf{H}(m)$ 可表示為：

$$\underline{\mathbf{H}}(m) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(m) & h_{1,2}(m) & \cdots & h_{1,N_T}(m) \\ h_{2,1}(m) & h_{2,2}(m) & \cdots & h_{2,N_T}(m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(m) & h_{N_R,2}(m) & \cdots & h_{N_R,N_T}(m) \end{bmatrix}, \quad \text{方程式(1)}$$

其中元 $h_{i,j}(m)$ (其中 $i = 1 \dots N_R$ 且 $j = 1 \dots N_T$)表示

在傳輸跨度 m 中發射天線 j 與接收天線 i 之間的通道增益。一傳輸跨度可涵蓋時間及/或頻率尺寸。舉例而言，在一單載波MIMO系統中，一傳輸跨度可對應於一個符號週期，符號週期係傳輸一個資料符號之時間間隔。在一多載波MIMO系統中，一傳輸跨度可對應於一個符號週期中之一個子頻帶。一傳輸跨度亦可涵蓋多個符號週期及/或多個子頻帶。為簡明起見，假定MIMO通道為滿秩通道，其中 $N_s = N_T \leq N_R$ 。

MIMO系統可使用一種或多種運作模式—例如—「已校準」模式及「未校準」模式—來支援資料傳輸。已校準模式可採用全CSI傳輸，藉以使資料在MIMO通道之正交空間通道(或「特徵模態」)上傳輸。未校準模式可採用部分CSI傳輸，藉以使資料例如自各單獨發射天線在MIMO通道

之各空間通道上傳輸。

MIMO系統亦可採用引導傳送差異(STD)來提高效能。藉助STD，發射實體使用引導矩陣執行空間處理，以使一資料傳輸觀測到各有效通道之總體，而非在一長時間週期中停留在一單一的差通道實現上。因此，效能不會受最差情形通道狀態控制。

1. 已校準模式-全CSI傳輸

對於全CSI傳輸，可按下式對 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 的一相關矩陣執行特徵值分解來獲得 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 之 N_S 個特徵模態：

$$\underline{\mathbf{R}}(m) = \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}(m) = \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\Lambda}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m), \quad \text{方程式(2)}$$

其中 $\underline{\mathbf{R}}(m)$ 係 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 的一 $N_T \times N_T$ 維相關矩陣；

$\underline{\mathbf{E}}(m)$ 係一 $N_T \times N_T$ 維單位矩陣，其各行係 $\underline{\mathbf{R}}(m)$ 之特徵向量；

$\underline{\Lambda}(m)$ 係一由 $\underline{\mathbf{R}}(m)$ 之特徵值構成之 $N_T \times N_T$ 維對角矩陣；及" ^{H} "表示共軛轉置。

一單位矩陣 $\underline{\mathbf{U}}$ 係由性質 $\underline{\mathbf{U}}^H \cdot \underline{\mathbf{U}} = \underline{\mathbf{I}}$ 表徵，其中 $\underline{\mathbf{I}}$ 係恒等矩陣。一單位矩陣之各行互相正交，且每一行皆具有單位冪。矩陣 $\underline{\mathbf{E}}(m)$ 可由發射實體用於空間處理，以在 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 之 N_S 個特徵模態上傳輸資料。特徵模態可視為藉由分解而獲得之正交空間通道。 $\underline{\Lambda}(m)$ 之對角線元係 $\underline{\mathbf{R}}(m)$ 之特徵值，其表示該等 N_S 個特徵模態之冪增益。亦可執行奇異值分解來獲得左特徵向量及右特徵向量矩陣，左特徵向量及右特徵向量矩陣可用於全CSI傳輸。

發射實體按下式使用引導傳送差異對全CSI傳輸執行空

間處理：

$$\underline{\mathbf{x}}_f(m) = \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m), \quad \text{方程式 (3)}$$

其中 $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 係一 $N_T \times 1$ 維向量，其具有欲在傳輸跨度 m 中發送之多達 N_S 個資料符號；

$\underline{\mathbf{V}}(m)$ 係傳輸跨度 m 之一 $N_T \times N_T$ 維引導矩陣；

$\underline{\mathbf{E}}(m)$ 係傳輸跨度 m 之特徵向量矩陣；及

$\underline{\mathbf{x}}_f(m)$ 係一 $N_T \times 1$ 維向量，其具有欲在傳輸跨度 m 中自 N_T 個發射天線發送之 N_T 個發射符號。

如方程式 (3) 所示， $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 中之每一資料符號皆藉由 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 中一相應的行有效地得到空間擴展。若 $N_S < N_T$ ，則藉由一 $N_S \times N_S$ 維矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 對 $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 中之 N_S 個資料符號實施空間擴展，以獲得 N_S 個「擴展」符號。每一擴展符號皆包含該 N_S 個資料符號中每一資料符號之一分量。然後，在 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 之該 N_S 個特徵模態上發送來自空間處理之 N_S 個擴展符號。每一引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 皆係一單位矩陣，並可如下文所述來產生。

接收實體自該 N_R 個接收天線獲得接收符號，此可表示為：

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_f(m) &= \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{x}}_f(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m), \\ &= \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) \end{aligned}, \quad \text{方程式 (4)}$$

其中 $\underline{\mathbf{r}}_f(m)$ 係一 $N_R \times 1$ 維向量，其具有在傳輸跨度 m 中經由該 N_R 個接收天線獲得之 N_R 個接收符號；

$\underline{\mathbf{n}}(m)$ 係傳輸跨度 m 之一雜訊向量；及

$\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m)$ 係在藉由引導傳送差異實施之全 CSI 傳輸情況下

由資料向量 $\underline{s}(m)$ 觀測到的一 $N_R \times N_T$ 維「有效」MIMO 通道響應矩陣，其係：

$$\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \quad \text{方程式 (5)}$$

為簡明起見，假定雜訊係具有一零平均向量及一協方差矩陣 $\underline{\varphi}_{nn} = \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}$, where σ^2 之加成性白高斯雜訊 (AWGN)，其中 σ^2 係雜訊之方差且 $\underline{\mathbf{I}}$ 係恒等矩陣。

接收實體可使用各種接收機處理技術來恢復 $\underline{s}(m)$ 中之資料符號。適用於全 CSI 傳輸之技術包括一種全 CSI 技術及一種最小均方差 (MMSE) 技術。

對於全 CSI 技術，接收實體可按下式導出一空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ ：

$$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Lambda}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \quad \text{方程式 (6)}$$

接收實體可按下式使用 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ 執行接收機空間處理：

$$\begin{aligned} \hat{\underline{s}}_{fcsi}(m) &= \underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_f(m), \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Lambda}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{s}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m)], \text{方程式 (7)} \\ &= \underline{s}(m) + \underline{\mathbf{n}}_f(m), \end{aligned}$$

其中 $\hat{\underline{s}}_{fcsi}(m)$ 係一具有 N_S 個所偵測資料符號之 $N_T \times 1$ 維向量；及

$\underline{\mathbf{n}}_f(m)$ 係在接收機空間處理之後的後偵測雜訊。

對於 MMSE 技術，接收實體可按下式導出一空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ ：

$$\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}^H(m) \quad \text{方程式 (8)}$$

空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 會使來自該空間濾波器之符號估計值與 $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 中之資料符號之間的均方差最小化。

接收實體可按下式執行 MMSE 空間處理：

$$\begin{aligned}\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{f_mmse}(m) &= \underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_f(m), \\ &= \underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m)], \quad \text{方程式 (9)} \\ &= \underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}_{f_mmse}(m),\end{aligned}$$

其中 $\underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}(m)$ 係一對角矩陣，其含有對角線元

$$\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m), \text{ 或 } \underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}(m) = \text{diag} [\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m)]; \text{ 及}$$

$\underline{\mathbf{n}}_{f_mmse}(m)$ 係 MMSE 已濾波雜訊。

來自空間濾波器之符號估計值 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 係資料符號之未歸一化估計值。與換算矩陣 $\underline{\mathbf{D}}_{f_mmse}(m)$ 相乘則會提供資料符號之歸一化估計值。

全 CSI 傳輸力圖在 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 之特徵模態上發送資料。然而，由於(舉例而言) $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 之估計值不理想、特徵值分解存在錯誤、算術精度有限等等，一全 CSI 資料傳輸可能並非完全正交。MMSE 技術則可補償(或「清除」)在全 CSI 資料傳輸中之任何正交性損失。

表 1 匯總了在發射實體及接收實體處對使用引導傳送差異之全 CSI 傳輸執行之空間處理。

表 1

實體	已校準模式-全 CSI 傳輸	
發送機	$\underline{\mathbf{x}}_f(m) = \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m)$	空間處理
	$\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$	有效通道
接收機 全 CSI	$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{\Lambda}}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m)$	空間濾波矩陣

	$\hat{\mathbf{s}}_{fcsi}(m) = \mathbf{M}_{fcsi}(m) \cdot \mathbf{r}_f(m)$	空間處理
接收機 MMSE	$\mathbf{M}_{f_mmse}(m) = [\mathbf{H}_{f_eff}^H(m) \cdot \mathbf{H}_{f_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \mathbf{I}]^{-1} \cdot \mathbf{H}_{f_eff}^H(m)$	空間濾波矩陣
	$\mathbf{D}_{f_mmse}(m) = \text{diag} [\mathbf{M}_{f_mmse}(m) \cdot \mathbf{H}_{f_eff}(m)]$	
	$\hat{\mathbf{s}}_{f_mmse}(m) = \mathbf{D}_{f_mmse}^{-1}(m) \cdot \mathbf{M}_{f_mmse}(m) \cdot \mathbf{r}_f(m)$	空間處理

2. 未校準模式-局部 CSI 傳輸

對於使用引導傳送差異之部分 CSI 傳輸，發射實體按下式執行空間處理：

$$\mathbf{x}_p(m) = \mathbf{V}(m) \cdot \mathbf{s}(m), \quad \text{方程式(10)}$$

其中 $\mathbf{x}_p(m)$ 係傳輸跨度 m 之發射資料向量。如方程式(10)所示， $\mathbf{s}(m)$ 中之每一資料符號皆藉由 $\mathbf{V}(m)$ 中一相應的行得到空間擴展。

然後，自該 N_T 個發射天線發射藉由乘以 $\mathbf{V}(m)$ 而得到之該 N_T 個擴展符號。

接收實體獲得接收符號，此可表示為：

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_p(m) &= \mathbf{H}(m) \cdot \mathbf{x}_p(m) + \mathbf{n}(m) = \mathbf{H}(m) \cdot \mathbf{V}(m) \cdot \mathbf{s}(m) + \mathbf{n}(m), \\ &= \mathbf{H}_{p_eff}(m) \cdot \mathbf{s}(m) + \mathbf{n}(m), \end{aligned} \quad \text{方程式(11)}$$

其中 $\mathbf{r}_p(m)$ 係傳輸跨度 m 之技術符號向量；及

$\mathbf{H}_{p_eff}(m)$ 係在使用引導傳送差異實施部分 CSI 傳輸之情況下由 $\mathbf{s}(m)$ 觀測到的一 $N_R \times N_T$ 維有效 MIMO 通道響應矩陣，其係：

$$\mathbf{H}_{p_eff}(m) = \mathbf{H}(m) \cdot \mathbf{V}(m) \quad \text{方程式(12)}$$

接收實體可使用各種接收機處理技術來恢復 $\mathbf{s}(m)$ 中之資料符號。適用於部分 CSI 傳輸之技術包括通道相關矩陣求逆(CCMI)技術(其亦通常稱作逼零技術)、MMSE 技術、及

順序性幹擾消除(SIC)技術。

在CCMI技術中，接收實體可按下式導出一空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$ ：

$$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) = \underline{\mathbf{R}}_{p_eff}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \quad \text{。 方程式(13)}$$

接收實體可按下式執行CCMI空間處理：

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(m) &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_p(m) , \\ &= \underline{\mathbf{R}}_{p_eff}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m)] , \quad \text{方程式(14)} \\ &= \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(m) , \end{aligned}$$

其中 $\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(m)$ 係CCMI已濾波雜訊。歸因於 $\underline{\mathbf{R}}_{p_eff}(m)$ 之結構，CCMI技術可放大雜訊。

在MMSE技術中，接收實體可按下式導出一空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m)$ ：

$$\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \quad \text{。 方程式(15)}$$

對應於部分CSI傳輸的方程式(15)與對應於全CSI傳輸的方程式(8)具有相同的形式。然而，在對應於部分CSI傳輸的方程式(15)中係使用 $\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m)$ (而非 $\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m)$)。

接收實體可按下式執行MMSE空間處理：

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{p_mmse}(m) &= \underline{\mathbf{D}}_{p_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_p(m) , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_{p_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}_{p_mmse}(m) , \quad \text{方程式(16)} \end{aligned}$$

其中 $\underline{\mathbf{D}}_{p_mmse}(m) = \text{diag} [\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m)]$ ，且 $\underline{\mathbf{n}}_{p_mmse}(m)$ 係在部分CSI傳輸情況下之MMSE已濾波雜訊。

對於SIC技術，接收實體在順序性階段中恢復 $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 中之資料符號。為清楚起見，在下文說明中假定 $\underline{\mathbf{s}}(m)$ 中之每一

元及 $\mathbf{r}_p(m)$ 中之每一元皆對應於一個資料符號流。接收實體在 N_S 個順序性階段中處理 $\mathbf{r}_p(m)$ 中之該 N_R 個接收符號流，以恢復 $\mathbf{s}(m)$ 中之 N_S 個資料符號流。通常，SIC 處理之方式係：為一個流恢復一個封包，然後為另一流恢復另一封包，依此類推。為簡明起見，在下文說明中假定 $N_S = N_T$ 。

對於每一階段 ℓ (其中 $\ell = 1 \dots N_S$)，接收實體對彼階段之 N_R 個輸入符號流 $\mathbf{r}_p'(m)$ 執行接收機空間處理。第一階段 ($\ell = 1$) 之輸入符號流係接收符號流或 $\mathbf{r}_p^1(m) = \mathbf{r}_p(m)$ 。每一後續階段 ($\ell = 2 \dots N_S$) 之輸入符號流皆係根據前一階段修改之符號流。階段 ℓ 之接收機空間處理係基於一空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x'(m)$ ，空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x'(m)$ 可根據一減小的有效通道響應矩陣 $\mathbf{H}_{p_eff}'(m)$ 並進一步根據 CCMI、MMSE 或某種其他技術來導出。 $\mathbf{H}_{p_eff}'(m)$ 包含 $\mathbf{H}_{p_eff}(m)$ 中對應於 $N_S - \ell + 1$ 個尚未在階段 ℓ 中得到恢復之資料符號流的 $N_S - \ell + 1$ 個行。接收實體獲得階段 ℓ 中的一個所偵測資料符號流 $\{\hat{s}_\ell\}$ ，並進一步處理 (例如解調變、解交錯及解碼) 該流來獲得一對應之已解碼資料流 $\{\hat{d}_\ell\}$ 。

接下來，接收實體估計由資料符號流 $\{s_\ell\}$ 對尚未得到恢復之其他資料符號流造成之干擾。為估計該干擾，接收實體按由發射實體對已解碼資料流 $\{\hat{d}_\ell\}$ 執行的相同方式來處理 (例如再編碼、交錯及符號映射) 該流，並獲得一「經再調變之」符號流 $\{\tilde{s}_\ell\}$ ，該「經再調變之」符號流 $\{\tilde{s}_\ell\}$ 係剛剛恢復之資料符號流 $\{s_\ell\}$ 之估計值。然後，接收實體使用引導矩陣 $\mathbf{v}(m)$ 對該經再調變之符號流執行空間處理，並進一步

將該結果乘以通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ，以獲得由流 $\{s_\ell\}$ 造成之 N_R 個幹擾分量 $\mathbf{i}'(m)$ 。然後，接收實體將該 N_R 個幹擾分量 $\mathbf{i}'(m)$ 自在當前階段 ℓ 中 $\mathbf{r}_p'(m)$ 之 N_R 個輸入符號流中減去，以獲得下一階段的 N_R 個輸入符號流 $\mathbf{r}_p^{(\ell+1)}(m)$ ，或者 $\mathbf{r}_p^{(\ell+1)}(m) = \mathbf{r}_p'(m) - \mathbf{i}'(m)$ 。輸入符號流 $\mathbf{r}_p^{(\ell+1)}(m)$ 代表在假定已有效地實施幹擾消除時，假若尚未傳輸資料符號流 $\{s_\ell\}$ 時接收實體將接收到之流。然後，接收實體對該 N_R 個輸入符號流 $\mathbf{r}_p^{(\ell+1)}(m)$ 重複相同之處理來恢復另一資料流。然而，下一階段 $\ell+1$ 之有效通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^{(\ell+1)}(m)$ 會減少一行，該行對應於在階段 ℓ 中得到恢復之資料符號流 $\{s_\ell\}$ 。

對於 SIC 技術，每一資料符號流之 SNR 皆相依於 (1) 每一階段所用之接收機處理技術 (例如 CCMI 或 MMSE)，(2) 該資料符號流在其中得到恢復之具體階段，及 (3) 因在後續階段中得到恢復之資料符號流造成之幹擾量。一般而言，由於消除了來自在先前階段中得到恢復之資料符號流之幹擾，因而在後續階段中得到恢復之資料符號流之 SNR 會漸次提高。因而，此可容許對在後續階段中恢復之資料符號流使用更高之速率。

表 2 匯總了在使用引導傳送差異之部分 CSI 傳輸情況下，發射實體及接收實體處之空間處理。為簡明起見，在表 2 中未顯示 SIC 技術。

表 2

實體	未校準模式一部分 CSI 傳輸	
發送機	$\underline{\mathbf{x}}_p(m) = \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m)$	空間處理
	$\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$	有效通道

5.

接收機 CCMI	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m)$	空間濾波矩陣
	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_p(m)$	空間處理
接收機 MMSE	$\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m)$	空間濾波矩陣
	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{p_mmse}(m) = \underline{\mathbf{D}}_{p_mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_p(m)$	空間處理

圖 2 顯示一用於使用引導傳送差異實施資料傳輸之模型。發射實體 110 為引導傳送差異執行空間處理(或空間擴展)(塊 220)並為全 CSI 或部分 CSI 傳輸執行空間處理(塊 230)。接收實體 150 為全 CSI 或部分 CSI 傳輸執行接收機空間處理(塊 260)並為引導傳送差異執行接收機空間處理(或空間解擴展)(塊 270)。如圖 2 所示，發射實體在為全 CSI 及部分 CSI 傳輸執行空間處理(若有)之前為引導傳送差異執行空間擴展。接收實體可為全 CSI 或部分 CSI 傳輸執行互補之接收機空間處理，隨後為引導傳送差異執行空間解擴展。

3. 空間濾波矩陣計算

藉助引導傳送差異，可對不同之傳輸跨度使用不同之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ ，以使由一資料傳輸所觀測到之有效 MIMO 通道隨機化。此可提高效能，乃因資料傳輸不會在一長的時間週期中觀測到「差」的 MIMO 通道實現。傳輸跨度可對應於單載波 MIMO 系統之符號週期或多載波 MIMO 系統之子頻帶。

圖 3A 顯示一在單載波 MIMO 系統情況下使用引導傳送差異之部分 CSI 傳輸。對於該系統，傳輸跨度標記 m 可等於一符號週期標記 n (或 $m=n$)。在每一符號週期 n 中可傳輸一個

資料符號向量 $\underline{s}(n)$ ，並可使用一為彼符號週期所選之引導矩陣 $\underline{V}(n)$ 對該資料符號向量 $\underline{s}(n)$ 實施空間擴展。每一資料符號向量 $\underline{s}(n)$ 皆觀測到一有效 MIMO 通道響應 $\underline{H}_{p_eff}(n) = \underline{H}(n) \cdot \underline{V}(n)$ 並使用一空間濾波矩陣 $\underline{M}_x(n)$ 而得到恢復。

圖 3B 顯示一在多載波 MIMO 系統情況下使用引導傳送差異之部分 CSI 傳輸。對於該系統，傳輸跨度標記 m 可等於一子頻帶標記 k (或 $m=k$)。在每一符號週期中，可在每一子頻帶 k 中傳輸一個資料符號向量 $\underline{s}(k)$ ，並可使用一為彼子頻帶所選之引導矩陣 $\underline{V}(k)$ 對該資料符號向量 $\underline{s}(k)$ 實施空間擴展。每一資料符號向量 $\underline{s}(k)$ 皆觀測到一有效 MIMO 通道響應 $\underline{H}_{p_eff}(k) = \underline{H}(k) \cdot \underline{V}(k)$ 並使用一空間濾波矩陣 $\underline{M}_x(k)$ 而得到恢復。向量 $\underline{s}(k)$ 及矩陣 $\underline{V}(k)$ 、 $\underline{H}(k)$ 和 $\underline{M}_x(k)$ 亦為符號週期 n 之函數，但為簡明起見為加以顯示。

如圖 3A 及 3B 所示，若對不同之傳輸跨度使用不同之引導矩陣，則由接收實體所用之空間濾波矩陣係傳輸跨度標記 m 之函數。即使通道響應矩陣 $\underline{H}(m)$ 在一系列傳輸跨度內固定或恒定不變，此亦成立。舉例而言，在一多載波 MIMO 系統中，對於一具有平坦頻率響應之平坦衰落 MIMO 通道， $\underline{H}(k)$ 可在一組子頻帶中固定不變。作為另一實例，在一單載波 MIMO 系統中，對於一無瞬時衰落之 MIMO 通道， $\underline{H}(n)$ 可在一給定時間間隔中固定不變。該時間間隔可對應於在傳輸一作為塊實施編碼及解碼的資料符號塊時所用持續時間之全部或一部分。

在相鄰傳輸跨度之通道響應矩陣之間，例如在 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 與 $\underline{\mathbf{H}}(m\pm 1)$ 之間，通常存在一定程度之關聯。在接收實體處，可利用此種關聯來簡化空間濾波矩陣之計算。下文將針對兩種情形－全關聯及部分關聯－對該計算加以說明。

A. 全關聯

對於全關聯，MIMO通道之通道響應矩陣在所關心的一系列傳輸跨度標記(例如對於 $m=1\dots M$)中固定不變，其中 M 可係任何大於1之整數。因而 $\underline{\mathbf{H}}(1)=\underline{\mathbf{H}}(2)=\dots=\underline{\mathbf{H}}(M)=\underline{\mathbf{H}}$ 。

對於全CSI技術，具有全關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ 可表示為：

$$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)=\underline{\mathbf{V}}^H(m)\cdot\underline{\mathbf{\Lambda}}^{-1}\cdot\underline{\mathbf{E}}^H\cdot\underline{\mathbf{H}}^H。 \text{ 方程式 (17)}$$

因而空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ 可表示為：

$$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)=\underline{\mathbf{V}}^H(m)\cdot\underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base}， \text{ 其中 } m=1\dots M， \text{ 方程式 (18)}$$

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base}=\underline{\mathbf{\Lambda}}^{-1}\cdot\underline{\mathbf{E}}^H\cdot\underline{\mathbf{H}}^H$ 係一基空間濾波矩陣，其係無引導傳送差異時全CSI技術之空間濾波矩陣。由於通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}$ 固定，因而基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base}$ 不為傳輸跨度 m 之函數。方程式(18)表明，每一傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ 可藉由將基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base}$ 自左乘以該傳輸跨度所用引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}^H(m)$ 來獲得。

或者，可按下式計算空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ ：

$$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)=\underline{\mathbf{W}}_1(m)\cdot\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(1)， \text{ 其中 } m=2\dots M， \text{ 方程式 (19)}$$

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(1)=\underline{\mathbf{V}}^H(1)\cdot\underline{\mathbf{\Lambda}}^{-1}\cdot\underline{\mathbf{E}}^H\cdot\underline{\mathbf{H}}^H$ 且 $\underline{\mathbf{W}}_1(m)=\underline{\mathbf{V}}^H(m)\cdot\underline{\mathbf{V}}(1)$ 。方程式(19)表明，每一傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ 可藉由將傳輸跨度1之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(1)$ 自左乘以矩陣

$\underline{\mathbf{W}}_1(m)$ 來獲得。矩陣 $\underline{\mathbf{W}}_1(m)$ (其中 $m = 2 \dots M$) 係單位矩陣，其中每一矩陣皆係藉由將兩個麼正引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 與 $\underline{\mathbf{V}}(1)$ 相乘來獲得。矩陣 $\underline{\mathbf{W}}_1(m)$ 可預先加以計算並儲存於一記憶體中。

對於全 CSI 傳輸情況下之 MMSE 技術，具有全關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 可表示為：

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) &= [\underline{\mathbf{H}}_{f_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{f_eff}^H(m), \\ &= [\underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \quad \text{方程式(20)} \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H.\end{aligned}$$

方程式 (20) 可使用如下性質導出： $(\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{B}})^{-1} = \underline{\mathbf{B}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{A}}^{-1}$ 及 $\underline{\mathbf{V}} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H = \underline{\mathbf{I}}$ 。方程式 20 中第二等式中括號內之項可表示為：

$$\begin{aligned}[\underline{\mathbf{V}}^H \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{V}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}] &= [\underline{\mathbf{V}}^H (\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{V}} \cdot \underline{\mathbf{I}} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H) \cdot \underline{\mathbf{V}}], \\ &= [\underline{\mathbf{V}}^H (\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}) \cdot \underline{\mathbf{V}}],\end{aligned}$$

其中為清楚起見已省略了「 (m) 」。因而，上面第二等式中之項之逆可表示為：

$$\begin{aligned}[\underline{\mathbf{V}}^H (\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}) \cdot \underline{\mathbf{V}}]^{-1} &= [\underline{\mathbf{V}}^H (\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}})^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}], \\ \text{其中 } \underline{\mathbf{V}}^H &= \underline{\mathbf{V}}^{-1}.\end{aligned}$$

空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 可計算為：

$$\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse_base}, \quad \text{其中 } m=1 \dots M, \quad \text{方程式(21)}$$

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse_base} = [\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。類似於全 CSI 技術，傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 可藉由將基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse_base}$ 自左乘以引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}^H(m)$ 來獲得。

空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m)$ 亦可計算為：

$\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) = \underline{\mathbf{W}}_1(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(1)$ ，其中 $m=2 \dots M$ ， 方程式(22)

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(1) = \underline{\mathbf{V}}^H(1) \cdot [\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。

對於CCMI技術，具有全關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$ 可表示為：

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) &= [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m), \\ &= [\underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \\ &= [\underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{R}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \quad \text{方程式 (23)} \\ &= \underline{\mathbf{V}}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{R}}^{-1} \cdot [\underline{\mathbf{V}}^H(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{R}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \end{aligned}$$

其中由於 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 係一單位矩陣，因而 $[\underline{\mathbf{V}}^H(m)]^{-1} = \underline{\mathbf{V}}(m)$ 。

因而，空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$ 可計算為：

$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{ccmi_base}$ ，其中 $m=1 \dots M$ ， 方程式 (24)

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi_base} = \underline{\mathbf{R}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$ 亦可計算為：

$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{W}}_1(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(1)$ ，其中 $m=2 \dots M$ ， 方程式 (25)

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(1) = \underline{\mathbf{V}}^H(1) \cdot \underline{\mathbf{R}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。

對於局部CSI傳輸情況下之MMSE技術，具有全關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m)$ 可表示為：

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) &= [\underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{p_eff}^H(m), \\ &= [\underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H, \quad \text{方程式} \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H. \end{aligned}$$

(26)

方程式(26)可按與上述方程式(20)相似之方式導出。

空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m)$ 可計算為：

$\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse_base}$ ，其中 $m=1 \dots M$ ， 方程式(27)

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse_base} = [\underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m)$ 亦可計算為：

$\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) = \underline{\mathbf{W}}_1(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(1)$ ，其中 $m=2 \dots M$ ， 方程式(28)

其中 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(1) = \underline{\mathbf{V}}^H(1) \cdot [\underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ 。

表3匯總了在傳輸跨度 $m = 1 \dots M$ 內具有全關聯通道響應矩陣之全CSI及部分CSI傳輸的空間濾波矩陣之計算。

表3-具有全關聯之空間濾波矩陣

模式	空間濾波矩陣	技術
全CSI	$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base} = \underline{\mathbf{\Lambda}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ ，及 $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{fcsi_base}$	全CSI
	$\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse_base} = [\underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ ，及 $\underline{\mathbf{M}}_{f_mmse}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{f_mmse_base}$	MMSE
部分CSI	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi_base} = \underline{\mathbf{R}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ ，及 $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{ccmi_base}$	CCMI
	$\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse_base} = [\underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$ ，及 $\underline{\mathbf{M}}_{p_mmse}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{p_mmse_base}$	MMSE

一般而言，傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣可按 $\underline{\mathbf{M}}_x(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ 計算，其中下標「 x 」表示接收機處理技術，其可係「 $fcsi$ 」、「 f_mmse 」、「 $ccmi$ 」或「 p_mmse 」。基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ 可儼若未使用引導傳送差異一般加以計算。

圖4顯示一用於在傳輸跨度 $m=1 \dots M$ 內計算具有全關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣之過程400之流程圖。首先計算一初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ (塊412)。該初始空間濾波矩陣可係根據(1)通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}$ 及(2)所選用之接收機處理技

術(例如全CSI、用於全CSI之MMSE、CCMI、或用於部分CSI之MMSE)導出之基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ 。或者，該初始空間濾波矩陣可係傳輸跨度 $m = 1$ 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(1)$ ，其可根據 $\underline{\mathbf{H}}$ 及 $\underline{\mathbf{V}}(1)$ 導出。

若 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init} = \underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ (如圖4所示)，則將傳輸跨度標記 m 設定為1，或者若 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init} = \underline{\mathbf{M}}_x(1)$ ，則將傳輸跨度標記 m 設定為2(塊414)。然後，根據初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ 及傳輸跨度 m 所用之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}_x(m)$ 來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ (塊416)。具體而言，可如上文所述根據 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ 與 $\underline{\mathbf{V}}_x(m)$ 或者 $\underline{\mathbf{M}}_x(1)$ 與 $\underline{\mathbf{W}}_1(m)$ 來計算 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 。然後，判定是否 $m < M$ (塊420)。若答案係「是」，則遞增標記 m (塊422)，且該過程返回塊416來計算另一傳輸跨度之空間濾波矩陣。反之，若在塊420中 $m=M$ ，則將空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(1)$ 至 $\underline{\mathbf{M}}_x(M)$ 分別用於對所接收符號向量 $\underline{\mathbf{r}}_x(1)$ 至 $\underline{\mathbf{r}}_x(M)$ 之接收機空間處理(塊424)。儘管為簡明起見在圖4中未顯示，然而可在既產生空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 亦獲得接收符號向量 $\underline{\mathbf{r}}_x(m)$ 後立即將每一空間濾波矩陣用於接收機空間處理。

對於全CSI傳輸，發射實體處之空間處理亦可簡化為： $\underline{\mathbf{x}}_f(m) = \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m)$ 。可根據每一傳輸跨度之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 及矩陣 $\underline{\mathbf{E}}$ 為彼傳輸跨度計算一矩陣 $\underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$ ，在全關聯情形中， $\underline{\mathbf{E}}$ 不為傳輸跨度之函數。

B. 部分關聯

對於部分關聯，MIMO通道之通道響應矩陣未跨所關心的傳輸跨度標記範圍全關聯。在此種情形中，可使用一為

傳輸跨度 ℓ 計算出之空間濾波矩陣來方便對另一傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣之計算。

在一實施例中，藉由移除傳輸跨度 ℓ 所用之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(\ell)$ ，自一為傳輸跨度 ℓ 計算之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(\ell)$ 獲得傳輸跨度 ℓ 之基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell)$ ，如下式所示：

$$\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell) = \underline{\mathbf{V}}(\ell) \cdot \underline{\mathbf{M}}_x(\ell)。 \quad \text{方程式(29)}$$

然後，使用基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell)$ 來導出傳輸跨度 m (例如 $m = \ell \pm 1$)之基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m)$ 。 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m)$ 可例如使用一迭代程序或演算法來計算，該迭代程序或演算法以迭代方式對 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell)$ 執行一組計算，以獲得 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m)$ 之最終解。用於計算MMSE解之迭代程序(例如自適應性MMSE演算法、梯度演算法、格點演算法等等)為此項技術所習知，在本文中不再加以贅述。傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 可計算為：

$$\underline{\mathbf{M}}_x(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m)。 \quad \text{方程式(30)}$$

因而該實施例之處理次序可表示為：
 $\underline{\mathbf{M}}_x(\ell) \rightarrow \underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell) \Rightarrow \underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m) \rightarrow \underline{\mathbf{M}}_x(m)$ ，其中" $\rightarrow$ "表示直接計算且" $\Rightarrow$ "表示可能的迭代計算。基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell)$ 及 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(m)$ 不包含引導矩陣，而空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(\ell)$ 及 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 分別包含用於傳輸跨度 ℓ 及 m 之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(\ell)$ 及 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 。

在另一實施例中，使用一迭代程序來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ ，該迭代程序以迭代方式對一初始猜測值 $\tilde{\underline{\mathbf{M}}}_x(m)$ 執行一組計算。該初始猜測值可根據為傳輸跨度 ℓ 導出之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(\ell)$ 來導出，如下式所示：

$$\tilde{\mathbf{M}}_x(m) = \mathbf{W}_\ell(m) \cdot \mathbf{M}_x(\ell), \quad \text{方程式 (31)}$$

其中 $\mathbf{W}_\ell(m) = \mathbf{V}^H(m) \cdot \mathbf{V}(\ell)$ 。該實施例之處理次序可表示為：
 $\mathbf{M}_x(\ell) \rightarrow \tilde{\mathbf{M}}_x(m) \Rightarrow \mathbf{M}_x(m)$ 。空間濾波矩陣 $\tilde{\mathbf{M}}_x(m)$ 及 $\mathbf{M}_x(m)$ 二者皆包含用於傳輸跨度 m 之引導矩陣 $\mathbf{V}(m)$ 。

對於上述實施例， $\mathbf{M}_{x_base}(\ell)$ 及 $\tilde{\mathbf{M}}_x(m)$ 可視為初始空間濾波矩陣，用於為一新的傳輸跨度 m 導出空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(m)$ 。一般而言， $\mathbf{M}_x(\ell)$ 與 $\mathbf{M}_x(m)$ 之間的關聯程度相依於 $\mathbf{M}_{x_base}(\ell)$ 與 $\mathbf{M}_{x_base}(m)$ 之間的關聯程度，而 $\mathbf{M}_{x_base}(\ell)$ 與 $\mathbf{M}_{x_base}(m)$ 之間的關聯程度又相依於傳輸跨度 ℓ 與 m 的 $\mathbf{H}(\ell)$ 與 $\mathbf{H}(m)$ 之間的關聯程度。關聯度愈高，可使得愈快地收斂至 $\mathbf{M}_x(\ell)$ 之最終解。

圖5顯示一用於為傳輸跨度 $m=1 \dots M$ 計算具有部分關聯通道響應矩陣之空間濾波矩陣的過程500之流程圖。將當前及下一傳輸跨度之標記初始化為 $\ell=1$ 及 $m=2$ (塊512)。根據所選用之接收機處理技術為傳輸跨度 ℓ 計算一空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(\ell)$ (塊514)。然後，根據空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(\ell)$ 及適當之引導矩陣/若干引導矩陣 $\mathbf{V}(\ell)$ 及 $\mathbf{V}(m)$ 來計算傳輸跨度 m 之初始空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_{x_init}$ ，例如如方程式(29)或(31)所示(塊516)。然後，例如使用一迭代程序，根據該初始空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_{x_init}$ 來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣 $\mathbf{M}_x(m)$ (塊518)。

然後，判定是否 $m < M$ (塊520)。若答案係「是」，則將標記 ℓ 及 m 更新為例如 $\ell=m$ 及 $m=m+1$ (塊522)。然後，該過程

返回至塊 516 來計算另一傳輸跨度之空間濾波矩陣。反之，若在塊 520 中判定出已計算出所有空間濾波矩陣，則將空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(1)$ 至 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 分別用於對接收符號向量 $\mathbf{r}_x(1)$ 至 $\mathbf{r}_x(M)$ 執行接收機空間處理(塊 524)。

為簡明起見，圖 5 顯示為 M 個連續的傳輸跨度 $m=1\dots M$ 計算 M 個空間濾波矩陣。該等傳輸跨度不需要鄰接。一般而言，使用為一個傳輸跨度 ℓ 導出之空間濾波矩陣來獲得另一傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣之初始猜測值，其中 ℓ 及 m 可係任何標記值。

4. 引導矩陣

可產生一組引導矩陣(或傳送矩陣)並將其用於引導傳送差異。該等引導矩陣可標記為 $\{\underline{\mathbf{V}}\}$ ，或者 $\underline{\mathbf{V}}(i)$ ，其中 $i=1\dots L$ ，其中 L 可係任何大於 1 之整數。每一引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(i)$ 皆應為一單位矩陣。該條件會確保使用 $\underline{\mathbf{V}}(i)$ 同時傳輸之 N_T 個資料符號具有相同之功率且在使用 $\underline{\mathbf{V}}(i)$ 進行空間擴展後相互正交。

該組 L 個引導矩陣可以不同之方式產生。舉例而言，可根據一單位基矩陣及一組純量來產生該等 L 個引導矩陣。該基矩陣可用作該 L 個引導矩陣之一。其餘 $L-1$ 個引導矩陣則可藉由將該基矩陣之各列乘以不同之純量組合來產生。每一純量可係任一實數或複數值。該等純量選擇成具有單位大小，以使藉由該等純量所產生之引導矩陣為單位矩陣。

該基矩陣可係一沃爾什矩陣。一 2×2 維沃爾什矩陣 $\mathbf{W}_{2 \times 2}$

及一更大尺寸之沃爾什矩陣 $W_{2N \times 2N}$ 可表示為：

$$\underline{W}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{及} \quad \underline{W}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \underline{W}_{N \times N} & \underline{W}_{N \times N} \\ \underline{W}_{N \times N} & -\underline{W}_{N \times N} \end{bmatrix}。 \quad \text{方程式 (32)}$$

沃爾什矩陣之維數為2之乘方(例如2, 4, 8等等)。

該基矩陣亦可係一傅立葉矩陣。對於一 $N \times N$ 維傅立葉矩陣 $\underline{D}_{N \times N}$ ， $\underline{D}_{N \times N}$ 之第 n 列、第 m 行中之元 $d_{n,m}$ 可表示為：

$$d_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{N}}， \text{其中 } n=\{1 \dots N\} \text{ 且 } m=\{1 \dots N\}。 \quad \text{方程式 (33)}$$

可形成任何正方維(例如2, 3, 4, 5等等)之傅立葉矩陣。亦可使用其他矩陣作為基矩陣。

對於一 $N \times N$ 維基矩陣，可將基矩陣之第2至第 N 列中之每一列分別乘以 K 個不同之可能純量之一。自該等 K 個純量對 $N-1$ 個列之 K^{N-1} 種不同排列，可獲得 K^{N-1} 個不同之引導矩陣。舉例而言，可將列2至 N 中之每一列分別乘以一純量 $+1$ ， -1 ， $+j$ ，或 $-j$ 。當 $N=4$ 且 $K=4$ 時，可自一 4×4 基矩陣及四個不同之純量產生64個不同之引導矩陣。一般而言，可將基矩陣之每一列乘以任一具有 $e^{j\theta}$ 形式之純量，其中 θ 可係任一相位值。將一與純量相乘之 $N \times N$ 維基矩陣中之每一元進一步乘以 $1/\sqrt{N}$ ，以獲得一每一行皆具有單位冪之 $N \times N$ 維引導矩陣。

根據一沃爾什矩陣(或一 4×4 維傅立葉矩陣)導出之引導矩陣具有某些所期望之性質。若將沃爾什矩陣中之各列乘以純量 ± 1 及 $\pm j$ ，則所得之引導矩陣中之每一元係 $+1$ ，

-1 ， $+j$ ，或 $-j$ 。在此種情形中，一空間濾波矩陣中之元(或「權重」)與該引導矩陣中之元之乘法可僅藉由位元調處來執行。若該 L 個引導矩陣中之各元屬於一由 $\{+1, -1, +j, -j\}$ 構成之集合，則可大大簡化用於為全關聯情形導出空間濾波矩陣之計算。

5. MIMO系統

圖6顯示一MIMO系統600中一存取點610及一使用者終端650之方塊圖。存取點610配備有 N_{ap} 個可用於資料傳輸及接收之天線，且使用者終端650配備有 N_{ut} 個天線，其中 $N_{ap} > 1$ 且 $N_{ut} > 1$ 。

在下行鏈路上，在存取點610處，一TX資料處理器620接收及處理(編碼、交錯及符號映射)訊務/封包資料及控制/負擔資料，並提供資料符號。一TX空間處理器630使用下行鏈路之引導矩陣 $\underline{V}(m)$ 及可能的特徵向量矩陣 $\underline{E}(m)$ 對該等資料符號執行空間處理，如表1及2所示。TX空間處理器630還適當地以導頻符號實施多工，並提供 N_{ap} 個發射符號流至 N_{ap} 個發射單元632a至632ap。每一發射單元632皆接收並處理一相應之發射符號流，然後提供一對應之下行鏈路已調變信號。然後，自 N_{ap} 個天線634a至634ap分別發射來自發射單元632a至632ap之 N_{ap} 個下行鏈路已調變信號。

在使用者終端650處， N_{ut} 個天線652a至652ut接收所發射之下行鏈路已調變信號，且每一線皆提供一接收信號至一相應之接收單元654。每一接收單元654皆執行與接收單元632所執行處理互補之處理，並提供接收符號。一RX空

間處理器 660 對來自所有 N_{ut} 個接收單元 654a 至 654ut 之接收符號執行接收機空間處理(例如如表 1 及 2 所示)，並提供所偵測資料符號。一 RX 資料處理器 670 處理(例如符號解映射、解交錯及解碼)所偵測資料符號，然後為下行鏈路提供經解碼之符號。

上行鏈路處理既可相同亦可不同於下行鏈路處理。訊務及控制資料由一 TX 資料處理器 688 處理(例如編碼、交錯及符號映射)、由一 TX 空間處理器 690 使用上行鏈路之引導矩陣 $\underline{V}(m)$ 及可能的特徵向量矩陣 $\underline{E}(m)$ 實施空間處理、並與導頻符號相多工，以產生 N_{ut} 個發射符號流。 N_{ut} 個發射單元 654a 至 654ut 調節該 N_{ut} 個發射符號流以產生 N_{ut} 個上行鏈路已調變信號，然後經由 N_{ut} 個天線 652a 至 652ut 發射該等上行鏈路已調變信號。

在存取點 610 處，該等上行鏈路已調變信號由 N_{ap} 個天線 634a 至 634ap 接收到並由 N_{ap} 個接收單元 632a 至 632ap 處理，以獲得上行鏈路之接收符號。一 RX 空間處理器 644 對該等接收符號執行接收機空間處理，然後提供所偵測資料符號，該等所偵測資料符號由一 RX 資料處理器 646 進一步處理以獲得上行鏈路之已解碼資料。

處理器 638 及 678 分別為存取點及使用者終端執行通道估計及空間濾波矩陣計算。控制器 640 及 680 分別控制存取點及使用者終端處各種處理單元之運作。記憶體單元 642 及 682 則分別儲存控制器 630 及 680 所用之資料及程式碼。

圖 7 顯示處理器 678 之一實施例，處理器 678 為使用者終

端 650 執行通道估計及空間濾波矩陣計算。一通道估計器 712 獲得所接收導頻符號並為每一其中可得到所接收導頻符號之傳輸跨度導出一通道響應矩陣。一濾波器 714 可為當前及先前傳輸跨度之通道響應矩陣執行時域濾波，以獲得一更高品質之通道響應矩陣 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 。然後，一單元 716 計算一初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ 。

對於全關聯 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ，初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ 可係 (1) 一根據 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ 及所選接收機處理技術計算出之基空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}$ 或 (2) 一根據 $\underline{\mathbf{H}}(1)$ 、 $\underline{\mathbf{V}}(1)$ 及所選接收機處理技術計算出的傳輸跨度 1 之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(1)$ 。對於部分關聯之 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ，初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ 可係一初始猜測值 $\underline{\mathbf{M}}_{x_base}(\ell)$ 或 $\tilde{\underline{\mathbf{M}}}_x(m)$ - 其係根據一為另一傳輸跨度 ℓ 計算出之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(\ell)$ 而獲得。一單元 718 根據初始空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_{x_init}$ 及用於傳輸跨度 m 之引導矩陣 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ 來計算該傳輸跨度之空間濾波矩陣 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 。對於部分關聯之 $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ，單元 718 可執行一迭代程序來根據初始空間濾波矩陣 (其係 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 之初始猜測值) 為 $\underline{\mathbf{M}}_x(m)$ 進行計算。

處理器 638 為存取點 610 執行通道估計及空間濾波矩陣計算，並可按與處理器 678 相似之方式來構建。

本文所述空間濾波矩陣計算技術可由各種構件來實施。舉例而言，該等技術可構建於硬體、軟體、或其一組合中。對於硬體實施方案，空間濾波矩陣計算所用之處理單元可構建於一或多個應用專用積體電路 (ASIC)、數位信號處理器 (DSP)、數位信號處理裝置 (DSPD)、可程式化邏輯

裝置(PLD)、場可程式化閘陣列(FPGA)、處理器、控制器、微控制器、微處理器、其他設計用於執行本文所述功能之電子單元、或其一組合中。

對於軟體構建方案，可藉由模組(例如程序、功能等等)來執行空間濾波矩陣計算。軟體碼可儲存於記憶體單元(例如圖6中之記憶體單元642及682)中並由處理器執行(例如圖6中之控制器640及680)。該記憶體單元既可構建於處理器內，亦可構建於處理器外部，在構建於處理器外部之情況下，該記憶體單元可藉由此項技術中習知的各種構件以通信方式耦合至處理器。

本文中所包含之標題旨在方便查閱並幫助確定某些章節之位置。該等標題並非意欲限定該等標題下所述概念之範疇，該等概念亦可適用於整篇說明書中之其他章節。

上文所揭示實施例旨在使任一熟習此項技術者皆能夠製作或使用本發明。熟習此項技術者將易於得知該等實施例的各種修改方式，且本文所定義的一般原理亦可適用於其他實施例，此並未背離本發明之主旨或範疇。因此，本發明並非意欲限定為本文所示實施例，而應賦予其與本文所揭示原理及新穎特徵相一致的最寬廣範疇。

【圖式簡單說明】

圖1顯示一MIMO系統中的一發射實體及一接收實體；

圖2顯示一用於使用引導傳送差異實施資料傳輸之模型；

圖3A及3B分別顯示一單載波MIMO系統及一多載波

MIMO系統中之資料傳輸。

圖4及5分別顯示用於為完全相關及部分相關通道響應矩陣計算空間濾波矩陣之過程；

圖6顯示存取點及使用者終端之方塊圖；及

圖7顯示一用於空間濾波矩陣計算之處理器之方塊圖。

【主要元件符號說明】

100	MIMO系統
110	發射實體
120	發射(TX)空間處理器
122	發射單元(TMTR)
124	發射天線
150	接收實體
152	接收天線
154	接收單元(RCVR)
160	接收(RX)空間處理器
600	MIMO系統
610	存取點
620	TX資料處理器
630	TX空間處理器
632a-ap	發射單元
634a-ap	天線
638	處理器
640	控制器
642	記憶體單元

644	RX空間處理器
646	RX資料處理器
650	使用者終端
652a-ut	天線
654a-ut	接收單元
660	RX空間處理器
670	RX資料處理器
678	處理器
680	控制器
682	記憶體單元
688	TX資料處理器
690	TX空間處理器
712	通道估計器
714	濾波器
716	初始空間濾波矩陣計算單元
718	空間濾波矩陣計算單元

發明專利說明書

分割子案
中文說明書

分割案

(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：100141347

※申請日：94.6.30

※IPC 分類：H04B7/08 (2006.01)

原申請案號：094122216

一、發明名稱：(中文/英文)

於一多輸入多輸出(MIMO)通信系統內供引導傳送差異之空間濾波矩陣之有效計算

EFFICIENT COMPUTATION OF SPATIAL FILTER MATRICES FOR
STEERING TRANSMIT DIVERSITY IN A MIMO COMMUNICATION
SYSTEM

二、中文發明摘要：

本發明揭示用於有效地計算空間濾波矩陣之技術。若一MIMO通道在一系列傳輸跨度內相對為靜態，則該MIMO通道之各通道響應矩陣可高度相關。在此種情形中，可根據一個通道響應矩陣來導出一初始空間濾波矩陣，並可根據該初始空間濾波矩陣及用於每一傳輸跨度之引導矩陣來計算彼傳輸跨度之空間濾波矩陣。若MIMO通道不為靜態、但並不急劇變化，則各通道響應矩陣可部分地相關。在此種情形中，可為一個傳輸跨度 l 導出一空間濾波矩陣，並用其來導出另一傳輸跨度 m 之初始空間濾波矩陣。可根據該初始空間濾波矩陣、例如使用一迭代程序來計算傳輸跨度 m 之空間濾波矩陣。

三、英文發明摘要：

Techniques for efficiently computing spatial filter matrices are described. The channel response matrices for a MIMO channel may be highly correlated if the channel is relatively static over a range of transmission spans. In this case, an initial spatial filter matrix may be derived based on one channel response matrix, and a spatial filter matrix for each transmission span may be computed based on the initial spatial filter matrix and a steering matrix used for that transmission span. The channel response matrices may be partially correlated if the MIMO channel is not static but does not change abruptly. In this case, a spatial filter matrix may be derived for one transmission span ℓ and used to derive an initial spatial filter matrix for another transmission span m . A spatial filter matrix for transmission span m may be computed based on the initial spatial filter matrix, e.g., using an iterative procedure.

七、申請專利範圍：

1. 一種經由一多輸入多輸出(MIMO)通道傳輸包括一符號流之資料之方法，其包含：

基於一通道響應矩陣及一經選擇之接收機處理技術導出一初始空間濾波矩陣；及

使用基於該初始空間濾波矩陣之一空間濾波矩陣及不同的引導矩陣在該符號流上執行空間處理，使得一資料傳輸觀測到複數個有效通道。

2. 如請求項1之方法，其中該料傳輸包含一訊框。
3. 如請求項1之方法，其中該料傳輸包含複數個正交分頻多工(OFDM)符號。
4. 如請求項1之方法，其包含：

基於該初始空間濾波矩陣而在一靜態範圍內為複數個傳輸跨度之每一者判定一空間濾波矩陣，及用於個別傳輸跨度之一引導矩陣；及

在該複數個傳輸跨度之每一者之期間使用經判定用於該複數個傳輸跨度之每一者之該空間濾波矩陣以執行空間處理。

5. 如請求項1之方法，其包含基於該初始空間濾波矩陣導出一第二空間濾波矩陣。
6. 如請求項5之方法，其包含基於該第二空間濾波矩陣導出一第三空間濾波矩陣。
7. 一種電腦可讀取媒體，在其上儲存有用於經由一多輸入多輸出(MIMO)通道傳輸包括一符號流之資料之多個電腦

可執行指令，該等指令包含用於以下步驟之程式碼：

基於一通道響應矩陣及一經選擇之接收器處理技術導出一初始空間濾波矩陣；及

使用基於該初始空間濾波矩陣之一空間濾波矩陣及不同的引導矩陣執行空間處理，使得一資料傳輸觀測到複數個有效通道。

8. 如請求項7之電腦可讀取媒體，其中該料傳輸包含一訊框。
9. 如請求項7之電腦可讀取媒體，其中該料傳輸包含複數個OFDM符號。
10. 如請求項7之電腦可讀取媒體，其進一步包含用於以下步驟之指令：

基於該初始空間濾波矩陣而在一靜態範圍內為複數個傳輸跨度之每一者判定一空間濾波矩陣，及用於個別傳輸跨度之一引導矩陣；及

在該複數個傳輸跨度之每一者之期間使用經判定用於該複數個傳輸跨度之每一者之該空間濾波矩陣以執行空間處理。

11. 如請求項7之電腦可讀取媒體，其進一步包含用於基於該初始空間濾波矩陣導出一第二空間濾波矩陣的指令。
12. 如請求項11之電腦可讀取媒體，其進一步包含用於基於該第二空間濾波矩陣導出一第三空間濾波矩陣的指令。
13. 一種於一多輸入多輸出(MIMO)通信系統中之裝置，其包括：

用於基於一通道響應矩陣及一經選擇之接收機處理技術導出一初始空間濾波矩陣的構件；及

用於使用由該初始空間濾波矩陣導出之一空間濾波矩陣及不同的引導矩陣執行空間處理的構件，以允許一資料傳輸觀測到複數個有效通道。

14. 如請求項13之裝置，其中該資料傳輸包含一訊框。

15. 如請求項13之裝置，其中該資料傳輸包含複數個OFDM符號。

16. 如請求項13之裝置，其進一步包含用於基於該初始空間濾波矩陣而在一靜態範圍內為複數個傳輸跨度之每一者判定一空間濾波矩陣的構件，及用於個別傳輸跨度之一引導矩陣。

17. 如請求項13之裝置，其進一步包含用於基於該初始空間濾波矩陣導出一第二空間濾波矩陣的構件。

18. 如請求項17之裝置，其進一步包含用於基於該第二空間濾波矩陣導出一第三空間濾波矩陣的構件。

19. 一種於一多輸入多輸出(MIMO)通信系統中之裝置，其包括：

一空間處理器，其經組態以基於一通道響應矩陣及一經選擇之接收機處理技術導出一初始空間濾波矩陣，及使用由該初始空間濾波矩陣導出之一空間濾波矩陣及不同的引導矩陣執行空間處理，以允許一資料傳輸觀測到複數個有效通道。

20. 如請求項19之裝置，其中該資料傳輸包含一訊框。

21. 如請求項19之裝置，其中該資料傳輸包含複數個OFDM符號。
22. 如請求項19之裝置，其進一步包含一第一空間矩陣計算處理器，其經組態以基於該初始空間濾波矩陣而在一靜態範圍內為複數個傳輸跨度之每一者判定一空間濾波矩陣，及用於個別傳輸跨度之一引導矩陣。
23. 如請求項22之裝置，其進一步包含一第二空間矩陣計算處理器，其經組態以基於該初始空間濾波矩陣導出一第二空間濾波矩陣。
24. 如請求項23之裝置，其進一步包含一第三空間矩陣計算處理器，其經組態以基於該第二空間濾波矩陣導出一第三空間濾波矩陣。
25. 一種於一多輸入多輸出(MIMO)通信系統中之裝置，其包括：
 - 一經組態以基於一通道響應矩陣及一經選擇之接收機處理技術導出一初始空間濾波矩陣的模組；及
 - 一經組態以使用由該初始空間濾波矩陣導出之一空間濾波矩陣及不同的引導矩陣執行空間處理的模組，以允許一資料傳輸觀測到複數個有效通道。

八、圖式：

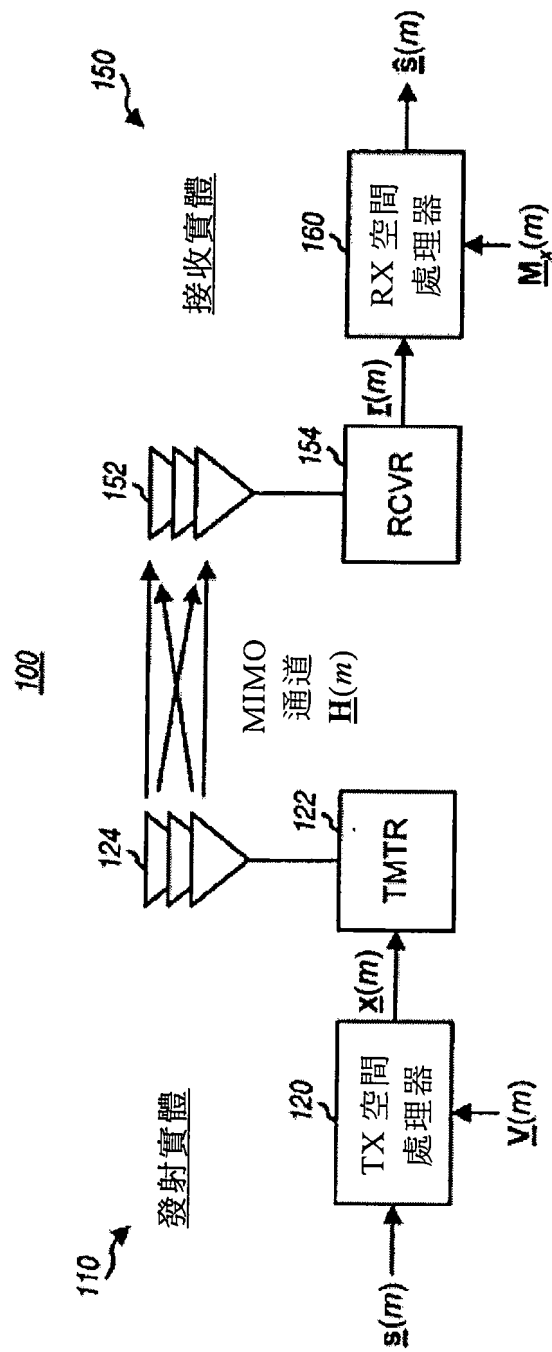


圖 1

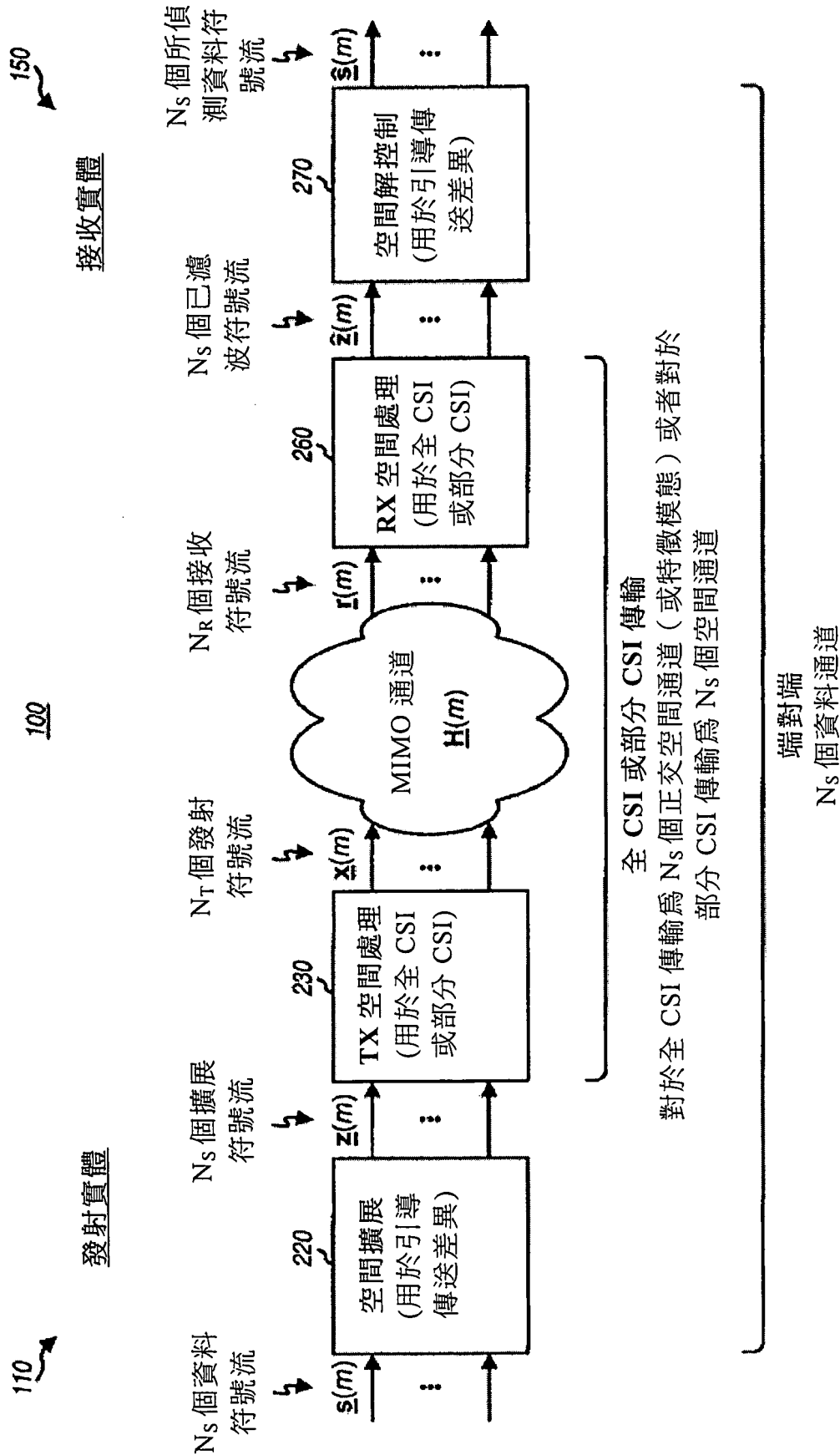


圖 2

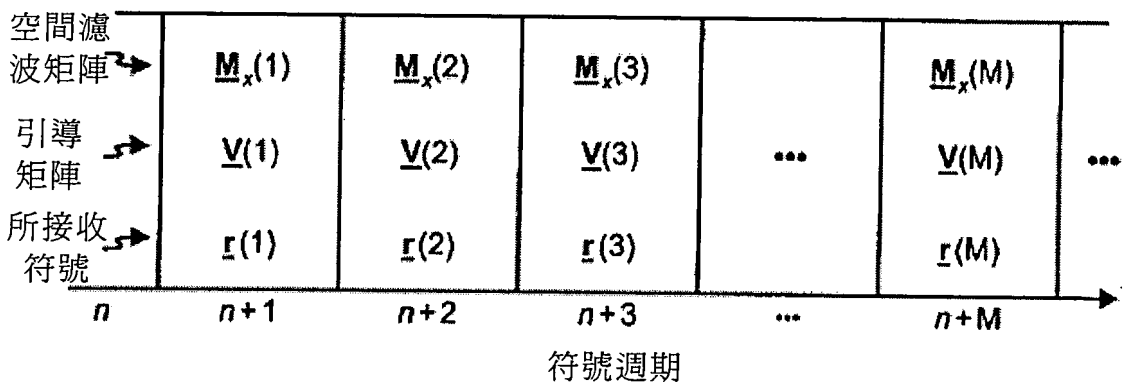


圖 3A

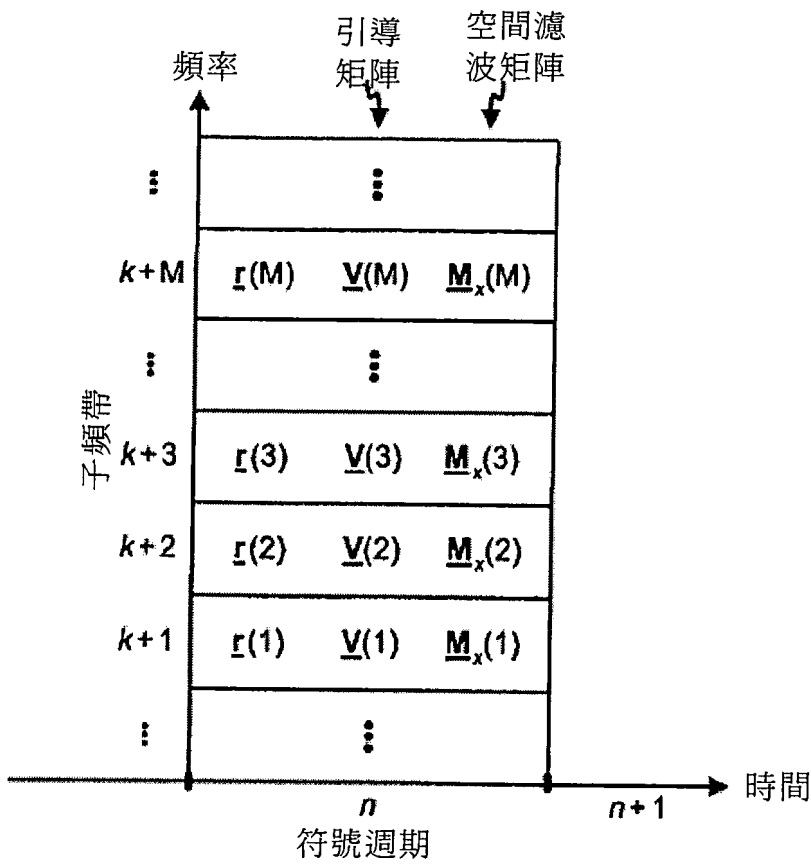


圖 3B

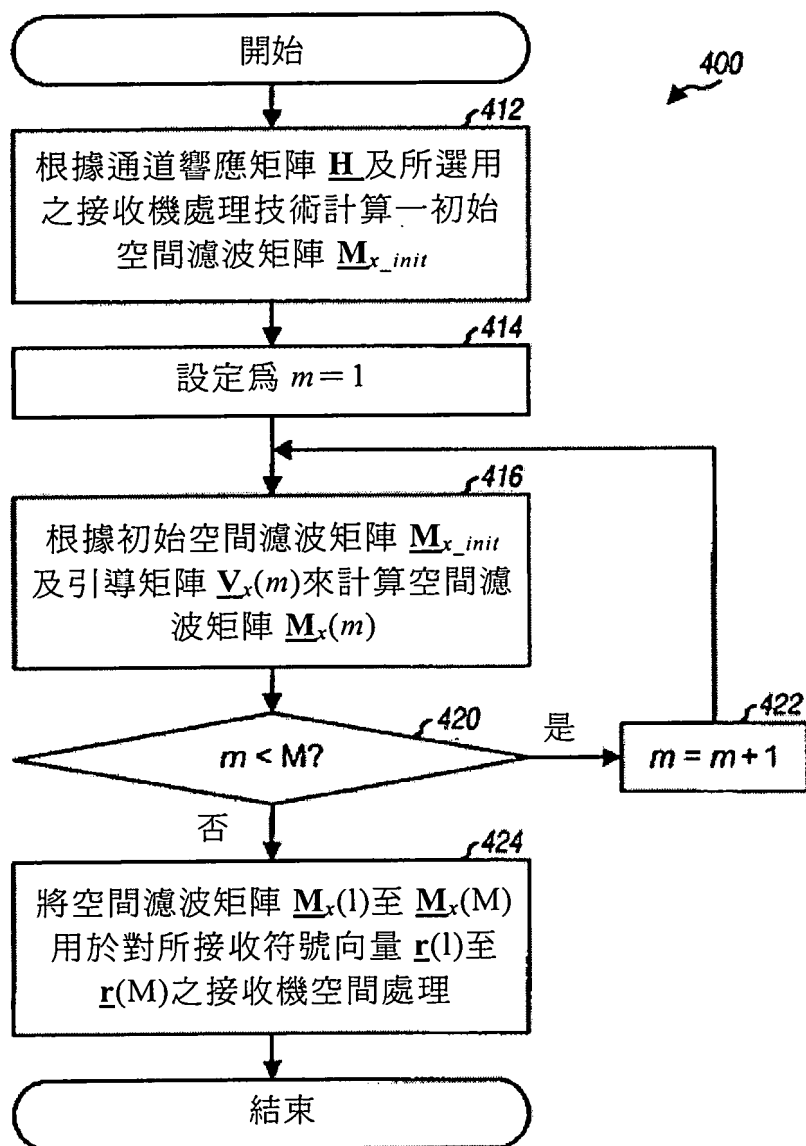


圖 4

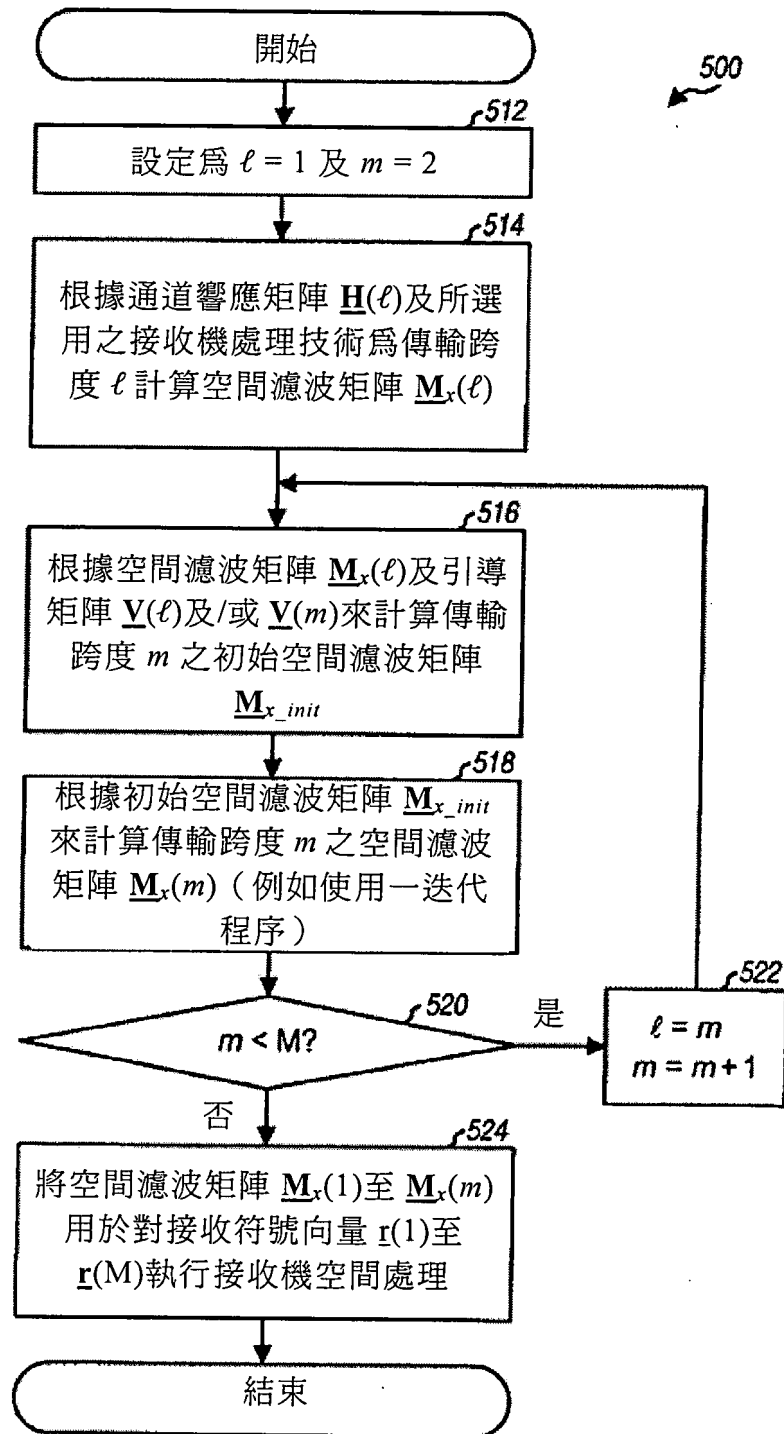


圖 5

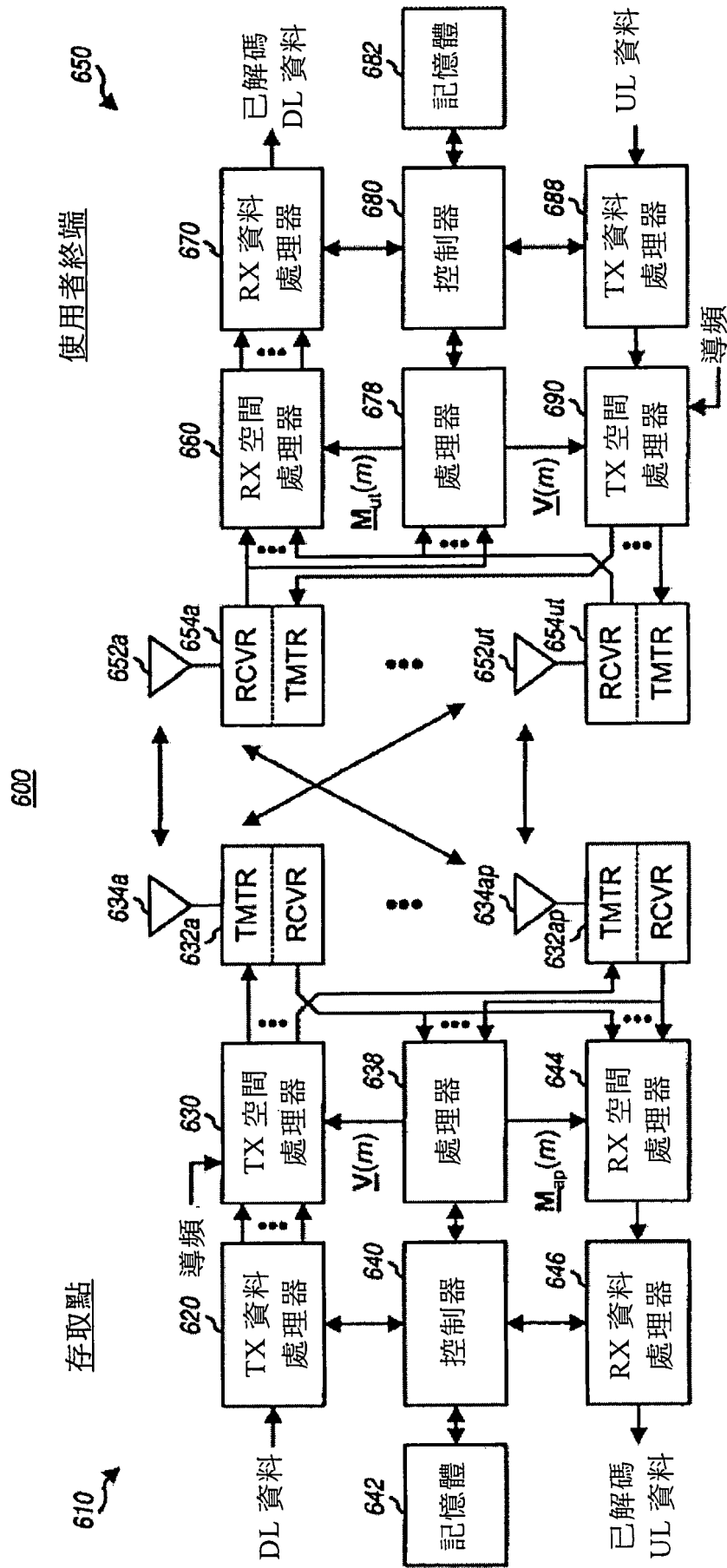


圖 6

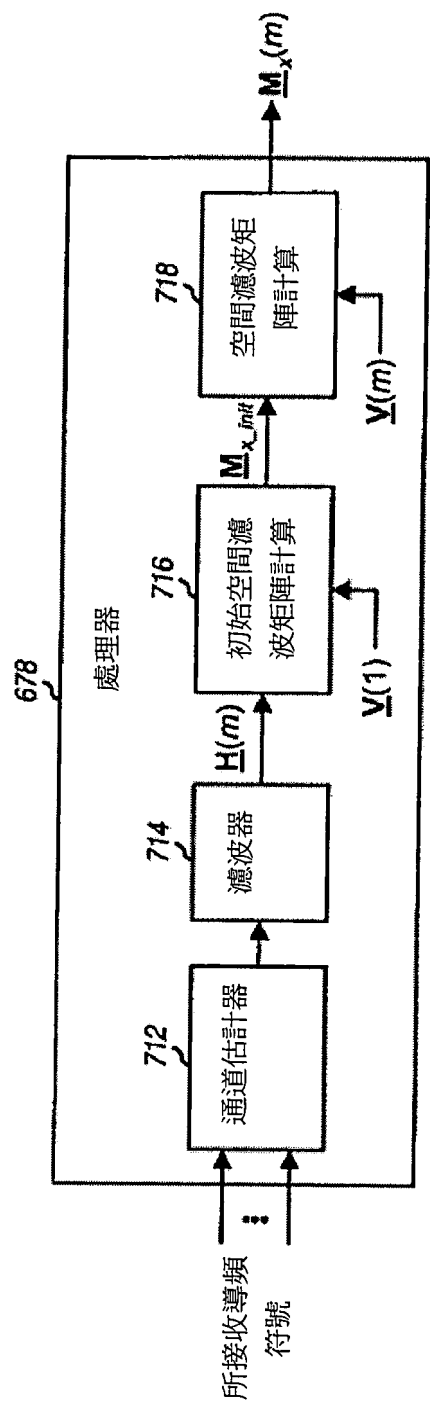


圖 7

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (4) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

(無元件符號說明)

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)