



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I444019 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 07 月 01 日

(21)申請案號：099130072

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 09 月 06 日

(51)Int. Cl. : H04L27/26 (2006.01)

H04B7/04 (2006.01)

(30)優先權：2009/09/23 美國

12/586,620

(71)申請人：英特爾股份有限公司 (美國) INTEL CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：多倫 亞雷特 DORON, AYELET (IL)；艾維威 羅頓 AVIVI, ROTEM (IL)；洛敏
茲 優弗 LOMNITZ, YUVAL (IL)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

JP 2007129697A

US 2008/0080449A1

US 2008/0232501A1

US 2009/0046569A1

審查人員：柯建羽

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：9 共 0 頁

(54)名稱

近似無線網路中無線網路通道容量的方法

METHOD OF APPROXIMATING A CAPACITY OF A WIRELESS NETWORK CHANNEL IN A
WIRELESS NETWORK

(57)摘要

識別對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法包含下述步驟：識別包含單位矩陣的容量度量、使用忽略該單位矩陣的近似度量來近似該容量度量、使用該近似度量來搜尋矩陣編碼簿中的所有矩陣，以識別增加該無線網路通道之容量的特定預編碼矩陣、及通過該無線網路通道而傳送對應於該特定預編碼矩陣之矩陣指數。用以識別預編碼矩陣的額外技術亦在此提及，作為近似無線網路中無線網路通道之容量的方法。

A method of identifying a precoding matrix corresponding to a wireless network channel comprises the steps of identifying a capacity metric that includes an identity matrix, approximating the capacity metric using an approximation metric that ignores the identity matrix, using the approximation metric to search over all matrices in a matrix codebook in order to identify a particular precoding matrix that increases a capacity of the wireless network channel, and transmitting across the wireless network channel a matrix index that corresponds to the particular precoding matrix. Additional techniques for identifying precoding matrices are also described herein, as is a method of approximating a capacity of a wireless network channel in a wireless network.

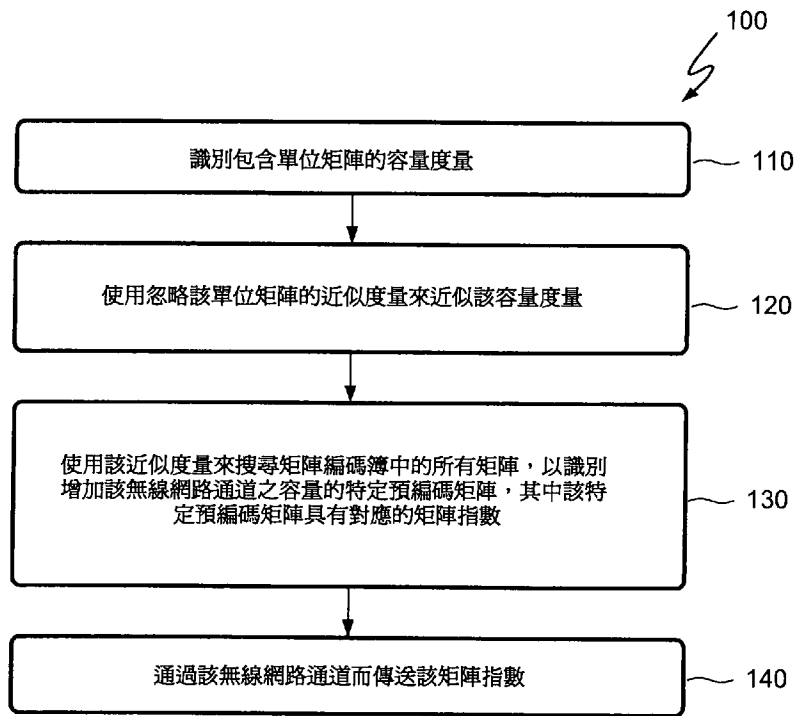


圖 1

發明專利說明書

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：099130072

※申請日：099 年 09 月 06 日

※IPC 分類：H04L 27/26 (2006.01)
H04B 7/04 (2006.01)

一、發明名稱：(中文／英文)

近似無線網路中無線網路通道容量的方法

Method of approximating a capacity of a wireless network channel in a wireless network

二、中文發明摘要：

識別對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法包含下述步驟：識別包含單位矩陣的容量度量、使用忽略該單位矩陣的近似度量來近似該容量度量、使用該近似度量來搜尋矩陣編碼簿中的所有矩陣，以識別增加該無線網路通道之容量的特定預編碼矩陣、及通過該無線網路通道而傳送對應於該特定預編碼矩陣之矩陣指數。用以識別預編碼矩陣的額外技術亦在此提及，作為近似無線網路中無線網路通道之容量的方法。

三、英文發明摘要：

A method of identifying a precoding matrix corresponding to a wireless network channel comprises the steps of identifying a capacity metric that includes an identity matrix, approximating the capacity metric using an approximation metric that ignores the identity matrix, using the approximation metric to search over all matrices in a matrix codebook in order to identify a particular precoding matrix that increases a capacity of the wireless network channel, and transmitting across the wireless network channel a matrix index that corresponds to the particular precoding matrix. Additional techniques for identifying precoding matrices are also described herein, as is a method of approximating a capacity of a wireless network channel in a wireless network.

四、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：無

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

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明之揭露實施例係通常關於無線網路通訊，且更特別地係關於波束成形（beamforming）方法及用以決定通道狀態資訊的方法。

【先前技術】

閉合迴路（closed-loop，CL）多輸入多輸出（MIMO）是一種技術，用以藉由提供發射器有關通道狀態的消息而提升發射天線（例如座落於基地台的天線）與接收天線（例如座落於行動台的天線）間之鏈路（亦稱爲一通道）的性能。發射器可具有關於一矩陣之通道係數的全部或部分資訊，且發射器可使用該資訊以增加鏈路之容量及改進鏈路之性能。閉合迴路多輸入多輸出操作將是IEEE 802.16無線寬頻標準（通常熟知爲微波存取全球互通技術，或WiMAX）之特色，且具體地爲802.16e Rev2（亦熟知爲Ver1.5）及802.16m之特色。閉合迴路多輸入多輸出爲波束成形之概括，用於超過一個發射串流（亦即，來自MIMO編碼器之輸出）的實例。在某些實施例中，波束成形包含訊號處理技術之使用，例如"預編碼"矩陣，其將各種發射訊號串流加權，以改進系統性能。

【發明內容及實施方式】

爲了例示的簡單與清楚，所繪圖示說明了結構的通常

方式，且熟知特色與技術之描述與細節可被省略，以避免不必要地模糊本發明之所述實施例的討論。此外，所繪圖示中的元件不必按照比例繪製。例如，圖示中的某些元件的尺寸可相對於其它元件被誇大，以幫助增進本發明之實施例的了解。在不同圖示中的相同參考符號表示相同元件，而相似的參考符號可（但不必需）表示相似的元件。

敘述中及申請專利範圍中之術語"第一"、"第二"、"第三"、"第四"、及類似者（若任一個）係使用於相似元件間的區別，且不必需是描述一特定相繼的或時間的順序。可理解如此使用的術語在適當的情況下可以交換，使得本發明在此所述之實施例可例如以不同於在此所說明或描述之實施例的順序操作。相似的，若在此所述之方法包含一系列步驟，則在此所呈現之此等步驟的順序不必需是此等步驟可以被執行的唯一順序，且某些所述步驟可能被省略，及/或某些在此未述及的其它步驟可能被加入到該方法。此外，術語"包含"、"包括"、"具有"及其任何變形係意指涵蓋非排除性的包括，使得包含一系列元件之製程、方法、物件、或設備不必需限於這些元件，但可包括未清楚列出或固有於此製程、方法、物件、或設備之其它元件。

敘述中及申請專利範圍中之術語"左"、"右"、"前"、"後"、"上"、"下"、"之上"、"之下"、及類似者（若任一個）係使用於說明的目的，且不必需是描述永久相對位置。可理解如此使用的術語在適當的情況下可以交換，使得本

發明在此所述之實施例可例如在不同於在此所說明或描述之實施例的方位中操作。在此所用的術語"耦接"係定義為以電性或非電性之方式直接或間接連接。在此所述之"相鄰於"彼此的物件可為實體接觸彼此、靠近趨近彼此、或彼此在相同通常區域或地區中，端視內文中所用的措辭何者較合適。在此之術語"在一實施例中"的出現並不必需全部都指相同的實施例。

在本發明的一實施例中，用以識別對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法包含下述步驟：識別包含單位矩陣的容量度量、使用忽略該單位矩陣的近似度量來近似該容量度量、使用該近似度量來搜尋矩陣編碼簿中的所有矩陣，以識別增加該無線網路通道之容量的特定預編碼矩陣、以及通過該無線網路通道而傳送對應於該特定預編碼矩陣之一矩陣指數。在另一實施例中，該方法包含：建構對角矩陣，其包含來自最小均方錯誤解碼器的解碼器錯誤能量項、以該最小均方錯誤解碼器計算鏈路之容量，以建構最小均方錯誤度量、使用該最小均方錯誤度量來搜尋矩陣編碼簿中的所有矩陣，以識別增加該無線網路通道之容量的特定預編碼矩陣、以及通過該無線網路通道而傳送對應於該特定預編碼矩陣之矩陣指數。

在本發明的一特定實施例中，從儲存於記憶體裝置中且包含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿選擇用於M個次載波（亦即，一邏輯頻帶）之目標預編碼矩陣的方法包含：識別選擇標準、選擇對應於選擇標準的度量、及將N個次載

波之各者的通道矩陣平均（其中 N 為大於 1 且小於或等於 M 的整數），以產生 L 個已平均通道矩陣。然後，對於該矩陣編碼簿中的各個預編碼矩陣，使用各個該等已平均通道矩陣來計算該度量，以得到 L 個已平均度量，且在該 M 個次載波計算該 L 個已平均度量之總和/平均。然後，該方法包含選擇該複數預編碼矩陣中增加該度量之和/平均的一特定預編碼矩陣，以作為該目標預編碼矩陣。

在一特定實施例中，從儲存於記憶體裝置中且包含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿選擇用於多通道實例之目標預編碼矩陣的方法包含：根據該矩陣編碼簿的大小，提供 N 碼字度量之緩衝器。然後，對於該矩陣編碼簿中的各個預編碼矩陣，計算對於各個通道實例之該預編碼矩陣的度量，且累加各個預編碼矩陣的度量至該緩衝器中的該度量。然後，該方法包含選擇該複數預編碼矩陣中得到想要累加度量的一特定預編碼矩陣，以作為該目標預編碼矩陣。

在本發明的一實施例中，近似無線網路中之無線網路通道之容量的方法包含：接收複數導頻音、評估複數通道回應矩陣及複數雜訊功率項，使得對於各個該複數導頻音存有一通道回應矩陣及一雜訊功率項、在各個該複數通道回應矩陣執行跡運算及行列式運算（或在這些矩陣的一函數上，例如 $H \cdot H^H$ ，其中 H^H 為埃爾米特 (Hermitian) 轉置運算符），以得到複數跡及複數行列式、找出該複數跡的平均值、該複數行列式之絕對值的平均值、及該複數雜訊功率項的平均值、將該無線網路通道之容量表示為該複數跡

的平均值、該複數行列式之絕對值的平均值、及該複數雜訊功率項的平均值之函數、以及找出該函數的解。

本文所用之通道模型（除非另外指出）如下：

$$\bar{x} = F\bar{s}, \quad (1)$$

其中， $\bar{x}$ 為發射訊號（向量大小為 $N_{tx} \times 1$ ）， N_{tx} 為實際（實體）發射天線之數目， F 為預編碼矩陣（矩陣大小為 $N_{tx} \times N_{streams}$ ）， $N_{streams}$ 為發射串流之數目，亦即，來自MIMO編碼器之輸出的數目，及 $\bar{s}$ 為來自MIMO編碼器之輸出，且

$$\bar{y} = H\bar{s} + \bar{v}, \quad (2)$$

其中， $\bar{y}$ 為接收訊號（向量大小為 $N_{rx} \times 1$ ）， N_{rx} 為接收天線之數目， H 為通道矩陣（矩陣大小為 $N_{rx} \times N_{tx}$ ），且 $\bar{v}$ 為通道雜訊（向量大小為 $N_{rx} \times 1$ ）。 $N_{streams}$ 、 N_{tx} 、及 N_{rx} 間的關係應滿足 $N_{streams} \leq \min(N_{tx}, N_{rx})$ 。在至少一實施例中， $N_{rx} \geq 2$ ，亦即，存有多個接收天線。

我們考慮用於IEEE 802.16e標準及WiMAX版本1.5（包含TDD及H-FDD）的CL-MIMO，且亦用於IEEE 802.16m標準。選擇用於CL-MIMO之方法係基於編碼簿的預編碼，其中預編碼矩陣係選自一編碼簿，亦即，一已知組的矩陣。接收器根據通道狀態而自編碼簿選擇最合適矩陣的指

數，且將其送至發射器。然後，發射器使用對應的矩陣作為預編碼矩陣。使用於 802.16e 及 802.16m 中之預編碼矩陣係為單一的一各個矩陣行之和功率（sum power）係等於 1。這意味著在發射串流之間沒有功率負載（power loading）（水瀉，water pouring）。我們假設：MIMO 垂直編碼；空間多工；MIMO 解碼器係為最小均方錯誤（minimum mean square error，MMSE）或最大可能解碼（maximum likelihood decoding，MLD）；且該排列（permutation）係用於連續/鄰近之次載波配置，例如 802.16e 中之適應性調變與編碼（adaptive modulation and coding，AMC）或 802.16m 中之連續追索單元（continuous recourse units，CRU）。

矩陣選擇度量

我們使用標準中之給定編碼簿，且嘗試找出自編碼簿選擇預編碼矩陣的有效方式。由於此工作是由用戶所做，用於矩陣選擇之演算法應該要簡單，且應該需要愈少運算愈好，但仍呈現良好性能。自給定編碼簿選擇一預編碼矩陣的一個方式係使用某個度量或其它選擇標準而對編碼簿中的所有矩陣執行徹底的搜索。接下來的討論包含根據本發明之實施例之特定度量的描述。

一個此種度量（在此指稱為 Abs-Det Metric）係對於在高訊號雜訊比（SNR）環境中之容量的近似。此 Abs-Det Metric 識別一預編碼矩陣 F ，其增加或甚至最大化特定

無線通道之容量。

讓用於預編碼矩陣 F 之容量度量 $I(F)$ 被表示為

$$I(F) = \det(I_{N_{streams}} + \frac{E_s}{N_{streams} N_0} F^* H^* H F), \quad (3)$$

其中， $I_{N_{streams}}$ 係為大小為 $N_{streams} \times N_{streams}$ 之單位矩陣， E_s 係為總發射能量， N_0 係為雜訊能量，且 F 及 H 係如前述所定義。注意 (3) 可以藉由忽略單位矩陣而被近似，使得

$$I(F) \approx \tilde{I}(F) = \left(\frac{E_s}{N_{streams} N_0} \right)^2 \det(F^* H^* H F), \quad (4)$$

其中， $\tilde{I}(F)$ 係為 Abs-Det Metric。Abs-Det Metric 亦可被表示為

$$\tilde{I}(F) = \left(\frac{E_s}{N_{streams} N_0} \right)^2 abs^2(\det(HF)). \quad (5)$$

藉由解出下式可識別目標預編碼矩陣 F

$$F = \arg \max_{F_i \in F} \tilde{I}(F). \quad (6)$$

Abs-Det Metric 相對於容量度量可致能 25% 的計算量減少，且其性能相似於在各種方案（例如不同的天線設定、不同的星象（constellation）及碼率、不同數目的串流、及類似者）中具有最大可能解碼器之容量度量（可忽略的損失）的性能。

現在參考圖示，圖 1 為流程圖，說明根據本發明之實施例之識別對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法 100。預編碼矩陣係選自位於編碼簿中之有限組的預編碼矩陣

(稱 為 碼 字) 中 。 編 碼 簿 通 常 儲 存 於 無 線 網 路 之 基 地 台 及 用 戶 台 兩 者 的 記 憶 體 中 。 作 為 一 範 例 ， 方 法 100 可 使 用 剛 才 所 述 之 Abs-Det Metric 而 識 別 增 加 特 定 無 線 通 道 之 容 量 的 預 編 碼 矩 陣 。 作 為 另 一 範 例 ， 方 法 100 之 步 驟 可 由 無 線 網 路 之 用 戶 台 執 行 。

方 法 100 之 步 驟 110 係 為 識 別 包 含 單 位 矩 陣 的 容 量 度 量 。 作 為 一 範 例 ， 容 量 度 量 可 相 似 於 (3) 中 所 述 的 度 量 。 在 某 些 實 施 例 中 ， 單 位 矩 陣 可 乘 以 一 常 數 。

方 法 100 之 步 驟 120 係 為 使 用 忽 略 該 單 位 矩 陣 的 近 似 度 量 來 近 似 該 容 量 度 量 。 作 為 一 範 例 ， 近 似 度 量 可 為 (或 可 相 似 於) (4) 中 所 示 的 Abs-Det 矩 陣 或 (5) 中 所 示 的 相 等 表 示 。

方 法 100 之 步 驟 130 係 為 使 用 該 近 似 度 量 來 搜 尋 矩 陣 編 碼 簿 中 的 所 有 矩 陣 ， 以 識 別 增 加 該 無 線 網 路 通 道 之 容 量 的 特 定 預 編 碼 矩 陣 ， 其 中 該 特 定 預 編 碼 矩 陣 具 有 對 應 的 矩 陣 指 數 。 作 為 一 範 例 ， 此 可 藉 由 解 出 (6) 而 完 成 。 須 注 意 ， 特 定 預 編 碼 矩 陣 僅 為 用 戶 台 偏 好 選 擇 的 矩 陣 。 用 戶 台 之 後 可 將 此 偏 好 選 擇 傳 輸 給 基 地 台 ， 基 地 台 可 隨 後 選 擇 用 戶 台 的 偏 好 選 擇 的 矩 陣 (或 另 一 矩 陣) ， 以 作 為 預 編 碼 矩 陣 。

方 法 100 之 步 驟 140 係 為 通 過 該 無 線 網 路 通 道 而 傳 送 該 矩 陣 指 數 。 作 為 一 範 例 ， 步 驟 140 可 從 用 戶 台 建 構 關 於 用 戶 台 偏 好 選 擇 的 矩 陣 指 數 的 報 告 給 基 地 台 ， 使 得 當 基 地 台 選 擇 預 編 碼 矩 陣 時 ， 可 以 使 用 此 資 訊 。

另一此種度量（在此指稱為 MMSE 容量度量（MMSE Capacity Metric））係為基於與 MMSE 解碼器之鏈路之實際容量的最佳化選擇準則。使 $\mathbf{E}$ 為對角矩陣，其包含有 MMSE 解碼器錯誤能量在對角上，使得

$$\mathbf{E} = \text{diag} \left(I_{N_{\text{streams}}} - \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \left(\mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} + \frac{N_{\text{streams}} N_0}{E_s} I_{N_{\text{streams}}} \right)^{-1} \mathbf{H} \mathbf{F} \right). \quad (7)$$

然後，MMSE Capacity Metric $I_{\text{MMSE}}(\mathbf{F})$ 可被表示為

$$I_{\text{MMSE}}(\mathbf{F}) = \text{trace}(\log(\mathbf{E}^{-1})) \quad (8)$$

且可藉由解出下式而識別預編碼矩陣 $\mathbf{F}$

$$\mathbf{F} = \arg \max_{\mathbf{F}_i \in \mathbf{F}} I_{\text{MMSE}}(\mathbf{F}_i). \quad (9)$$

對於具有 MMSE 解碼、兩串流、兩發射天線、及兩接收天線之實例來說，例如，MMSE Capacity Metric 展現出比開放迴路（亦即，沒有波束成形）多了大約 0.8 分貝（dB）的性能增益，且顯現出相似於最理想封閉迴路的性能（亦即，使用理論最理想選擇準則來波束成形）。各種其它選擇準則展現相似於開放迴路的性能。此性能增益例示於圖 2 中，其中，各種選擇準則之封包錯誤率（PER）係相對於前述環境（亦即，具有兩串流、兩發射天線、及兩接收天線之 MMSE 解碼）之 SNR 而繪出。亦假設國際電信聯盟（ITU）行人 B 模型及正交相移鍵控（QPSK）率 1/2。理論最理想度量（實際上是不可實現的）是圖中最低的線，而如前述且根據本發明之實施例的 MMSE 容量度量則為

實線，其最靠近趨近該最理想度量。

圖3為流程圖，說明根據本發明之實施例之識別對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法300。作為一範例，方法300可使用剛才所述的MMSE Capacity Metric來識別增加特定無線通道之容量的預編碼矩陣。作為另一範例，方法300之步驟可由無線網路之用戶台執行。

方法300之步驟310係為建構對角矩陣，其包含來自最小均方錯誤解碼器的解碼器錯誤能量項。作為一範例，對角矩陣可相似於(7)中所示之對角矩陣E。

方法300之步驟320係為該最小均方錯誤解碼器鏈路之容量，以建構最小均方錯誤度量。作為一範例，最小均方錯誤度量可相似於(8)中所示之度量。

方法300之步驟330係為使用該最小均方錯誤度量來搜尋矩陣編碼簿（儲存於記憶體裝置中）中的所有矩陣，以識別增加該無線網路通道之容量的特定預編碼矩陣，其中該特定預編碼矩陣具有對應的矩陣指數。作為一範例，此可藉由解出(9)而完成。

方法300之步驟340係為通過該無線網路通道而傳送該矩陣指數。作為一範例，步驟340可從用戶台建構關於用戶台偏好選擇的矩陣指數的報告給基地台，使得當基地台選擇預編碼矩陣時，可以使用此資訊。須注意，如同名稱所暗示的，偏好選擇的矩陣指數係為用戶台所偏好選擇的矩陣指數。在用戶台將此偏好選擇傳輸給基地台之後，基地台可隨後選擇用戶台的偏好選擇的矩陣（或另一矩陣）

，以作為預編碼矩陣。

頻率縮減 (Frequency Decimation)

根據 IEEE 802.16e 及 802.16m 標準，每個頻帶（在 802.16e 中稱為邏輯頻帶，且在 802.16m 中稱為次頻帶，且其例如等於 72 個連續次載波）只回授一個預編碼矩陣指數。因此，用戶（接收器）被要求選擇最適於整個頻帶的一個預編碼矩陣。存有用以選擇每個頻帶之一預編碼矩陣的某些方法，其中之一為計算整個頻帶之平均或總和容量度量。（以相似的方式，其它度量（不必需是容量）可在整個頻帶被平均。）然而，所有次載波及所有矩陣上之度量的計算是一個大的運算負擔。減低此運算負擔的一個方式係為在每 N 個次載波以頻率縮減來計算度量（ $N \leq M$ ，其中 M 為頻帶大小）。藉由頻率縮減，可從 N 個次載波之群組中的多個次載波之一個次載波取出一隨意通道矩陣。作為一範例，可取出中間次載波之通道矩陣。

總結此廣義的方法：

1. 對於選擇準則，選擇對應的度量。

2. 對於編碼簿中的各個預編碼矩陣：

a. 每 N 個次載波，以對應的通道矩陣計算度量（ $1 \leq N \leq M$ ）。

b. 計算頻帶上之多個度量之總和/平均。

3. 然後，選擇最大化總和-度量之預編碼矩陣。

對於總和-容量之近似解決方案（其較優於頻率縮減

）係為使用頻帶上具有平均通道矩陣之容量度量。此恰好是總和-容量之第一階近似（假設頻帶上是小通道變化）。以相同的方式，其它選擇準則可以與平均通道矩陣一起使用。總結：

1.對於選擇準則，選擇對應的度量。

2.平均每 N 個次載波之通道矩陣（ $N \leq M$ ）。

3.對於編碼簿中的各個預編碼矩陣：

a.每 N 個次載波，以對應的平均通道矩陣計算度量（ $1 < N \leq M$ ）。

b.計算頻帶上之多個度量之總和/平均。

4.然後，選擇最大化總和-度量之預編碼矩陣。

平均通道方法係說明於圖4，其為流程圖，說明根據本發明之實施例之從儲存於記憶體裝置中且包含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿選擇用於 M 個次載波之目標預編碼矩陣的方法400。

方法400之步驟410係為識別對應於選擇準則的度量。方法400之步驟420係為將 N 個次載波之各者的通道矩陣平均，以產生 L 個已平均通道矩陣，其中 N 為大於1且小於或等於 M 。方法400之步驟430係為使用各個已平均通道矩陣來計算該度量，以得到用於該矩陣編碼簿中的各個預編碼矩陣之 L 個已平均度量。方法400之步驟440係為在該 M 個次載波計算該 L 個已平均度量之總和/平均，以用於該矩陣編碼簿中的各個預編碼矩陣。方法400之步驟450係為選擇該複數預編碼矩陣中增加該度量之總和/平均的一特定預

編碼矩陣，以作為該目標預編碼矩陣。

須注意，目標預編碼矩陣僅為用戶台所偏好選擇的矩陣。然後，用戶台可將此偏好選擇傳輸給基地台，基地台可隨後選擇用戶台的偏好選擇的矩陣（或另一矩陣），以作為預編碼矩陣。

在一實施例中， N 等於 M 。（此意味 $L=1$ 。）在相同或另一實施例中， L 等於 M 除以 N ，亦即，各個平均度量包含相同數目的連續次載波，如同所有其它平均度量一般。

平均通道方法達成相似於總和-容量方法的性能，但只需相當少的運算。從前述知道 M 等於頻帶大小。模擬結果顯示，具有 $N=M$ （頻帶上一個平均通道矩陣）之平均通道方法產生與具有 $N=1$ （沒有頻率縮減）之平均容量大約相同的性能，高達 0.05 dB 。不考慮通道矩陣平均複雜度的話，此節省大約係數 N 的運算，其僅被實行一次（而非對於編碼簿中的各個預編碼矩陣執行一次）。為了比較，具有 $N=M$ （每頻帶選擇一個隨意通道矩陣）之頻率縮減（與具有 $N=M$ 之平均通道相同的複雜度）產生大約 0.5 dB 的較差性能。平均該通道矩陣的另一優點在於其有助於平均該通道評估誤差。圖5以方塊圖流程圖500的形式說明平均通道方法。

秩適應（Rank Adaptation）及頻帶選擇

有多個方法可用於選擇預編碼矩陣之傳輸頻帶及秩（rank，亦即，串流的數目）的目的。一種直接的方法（用

於一給定編碼簿)係比較用於所有頻帶及秩之預編碼矩陣選擇(例如,容量度量)的度量。此方法的缺點為編碼簿中之所有矩陣必須針對所有相關的秩進行掃描,且必須找出用於最佳矩陣之度量,且因此複雜度為高。一種次最理想方法(其免除掃描編碼簿中之所有矩陣的需求)係為使用具有最理想預編碼矩陣而無編碼簿之量化的容量,以來自編碼簿的最佳預編碼矩陣近似容量。(此方法稱為次最理想方法,因為其首先基於一準則而選擇秩,且然後選擇矩陣,而非同時選擇秩及矩陣兩者。)其它度量亦可用於該近似,以達編碼簿中的最佳矩陣。一種不用編碼簿預編碼的解決方案係基於通道矩陣的奇異值分解法(singular value decomposition, SVD)。因此,用於秩適應之準測係為具有不同串流數目之容量間的比較(假設SVD預編碼)。

例如,對於兩個接收天線及兩個發射串流,該容量為

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} \right|, \quad (10)$$

其中 I 為單位矩陣, E_s 為總發射能量, N_0 為雜訊能量, H 為通道矩陣, 且 F 為具有對應於串流數目之行數的最理想預編碼矩陣(無編碼簿量化)。用於兩個串流的容量亦可寫成

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} \mathbf{D} \right|, \quad (11)$$

其中 D 爲對角矩陣，對角上具有 $\mathbf{H}\mathbf{H}^*$ 的特徵值 (eigenvalue)。兩個串流的容量可替代地被寫成

$$C_2 = \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\max} \right) + \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\min} \right), \quad (12)$$

其中 $\lambda_{\max}$ 爲 $\mathbf{H}\mathbf{H}^*$ 的最大特徵值，且 $\lambda_{\min}$ 爲第二特徵值。

作爲另一範例，對於一個發射串流（及任何數目的發射及接收天線），該容量爲

$$C_1 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{N_0} \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} \right|, \quad (13)$$

其中 I ， E_s ， N_0 ， $\mathbf{F}$ ，及 $\mathbf{H}$ 爲如前面所定義。式 (10) 及 (13) 本質上相同；不同的是矩陣 $\mathbf{F}$ 的大小，矩陣 $\mathbf{F}$ 的大小等於根據發射串流之數目（1 或 2）乘以發射天線之數目。用於一個發射串流的該容量可相等地被寫成

$$C_1 = \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \lambda_{\max} \right), \quad (14)$$

其中 $\lambda_{\max}$ 爲如前面所定義。

由於容量（或任何其它度量）並不代表具有相同可靠度但不同秩之預編碼的性能，所以當比較用於不同秩的度量時，我們可以使用縮放係數。例如，如果我們想比較用於兩個接收天線之秩 1 預編碼及秩 2 預編碼，當 $C_2 > \alpha \cdot C_1$ 時，我們將選擇秩 2，當 $C_2 < \alpha \cdot C_1$ 時，我們將選擇秩 1，

其中 C_1 及 C_2 爲如前面所定義，且 α 爲一參數，其可（作爲一範例）根據 SNR。

用於多通道實例之預編碼矩陣的計算

用於多通道實例之計算需求例如是發生在，當計算適於多頻帶之一個預編碼矩陣（"多頻帶預編碼矩陣指數"）時，當計算適於任何次通道之寬頻預編碼矩陣時，當計算適於長時平均之長時（long-term）預編碼矩陣時，或類似者。根據本發明之實施例之一演算法係選擇在該等實例具有增加之（例如，最大的）累加度量的矩陣，如下：

1. 使用 N 碼字（Ncodewords）度量之緩衝器（根據編碼簿的大小）

2. 對於編碼簿中的各個預編碼矩陣：

a. 對於各個通道實例（例如，頻帶），計算該預編碼矩陣的度量（如同對於單一頻帶預編碼矩陣所做的）

b. 累加各個預編碼矩陣的度量至該緩衝器中的該度量（亦即，將碼字 i 之度量加至項目 i ）。在多頻帶預編碼矩陣中，該加法係在整個頻帶執行（例如，在相同時間訊框中的不同頻帶）；在長時預編碼矩陣中，該加法係在整個訊框執行（例如，不同時間訊框）。

3. 根據想要的（"最佳"）累加度量，選擇預編碼矩陣

。

多平均通道方法係例示於圖 6 及圖 7 中。圖 6 爲流程圖，說明根據本發明之實施例之從儲存於記憶體裝置中且包

含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿識別用於多通道實例之目標預編碼矩陣的方法600。圖7為方塊圖流程圖700。

方法600之步驟610係為根據該矩陣編碼簿的大小，提供N碼字度量之緩衝器。方法600之步驟620係為對於各個通道實例，計算該預編碼矩陣的度量。方法600之步驟630係為累加各個預編碼矩陣的度量至該緩衝器中的該度量。步驟620及630係針對矩陣編碼簿中的各個預編碼矩陣執行。方法600之步驟640係為識別該複數預編碼矩陣中得到想要的（最大的）累加度量的一特定預編碼矩陣，以作為該目標預編碼矩陣。

須注意，如同對於前述之平均通道方法係為真實的，在此之目標預編碼矩陣僅為用戶台偏好選擇的矩陣。用戶台之後可將此偏好選擇傳輸給基地台，基地台可隨後選擇用戶台的偏好選擇的矩陣（或另一矩陣），以作為預編碼矩陣。

在一實施例中，步驟630包含在複數頻帶，例如在相同時間訊框中的不同頻帶（相鄰次載波之群組）執行加法。在另一實施例中，步驟630包含在複數訊框，例如不同時間訊框執行加法。

MIMO CINR之計算

因為在802.16e中，用於MIMO之CINR係基於MIMO容量，所以前述提及容量值可用於CINR報告。事實上，WiMAX標準要求（或未來將要求）具有最大可能（ML，

maximum likelihood) 接收器實施之可 MIMO 的行動台應該支援基於容量的平均 CINR 報告。例如，行動台應該根據下面計算來報告 AVG_CINR_{dB} ：

$$AVG_CINR_{dB} = 10 \log_{10}(e^{C(d,y|\mathbf{H})} - 1), \quad (15)$$

其中 $C(d, y | \mathbf{H})$ 為容量，定義為：

$$C(d, y | \mathbf{H}) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \log \left(1 + \frac{\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)}{\sigma^2} + \frac{\text{abs}^2(\det(\mathbf{H}_p))}{\sigma^4} \right), \quad (16)$$

其中，該加總係執行於位在（正交分頻多工（OFDM）次載波 x OFDM 符號之）時頻二維平面中之預定區域內的一組導頻（pilot） P ， σ^2 為雜訊功率之評估（在下面定義）， $\mathbf{H}$ 為通道回應矩陣（在此參見稍早，其僅為通道矩陣），且 $\mathbf{H}^H$ 為已由埃爾米特 (Hermitian) 轉置運算符運算之後的該通道回應矩陣。

此方法之一延伸為針對一或數個預定區域計算 $C_{\text{region}}(d, y | \mathbf{H})$ ，且然後將所有此預定區域之 $C_{\text{region}}(d, y | \mathbf{H})$ 平均，以得到 $C(d, y | \mathbf{H})$ 。

WiMAX 標準（具體地，IEEE 802.16 REV2 D8）界定雜訊功率應該在（OFDM 次載波 x OFDM 符號之）一區域上平均，以減小其變異數（variance），如下：

$$\sigma^2 = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2. \quad (17)$$

該標準之要求規定 AVG_CINR_{dB} 計算必須在兩個疊代

(iteration) 中被執行，其中第一個疊代得到平均雜訊功率，且其中第二個疊代得到容量，此相應地需要所有訊框的（或區域的）導頻被保留在記憶體中。換句話說，在第一個疊代中， σ^2 必須在（OFDM次載波 x OFDM符號之）一區域被計算，且在第二個（隨後的）疊代中，容量必須在相同區域或區塊被計算。在訊框期間將所有已接收導頻保留在記憶體中的需求會消耗相當大量的記憶體（例如，3600導頻 x 32位元 = 14.4千位元組）。本發明之實施例顯著地減少所需記憶體的量，因此增進網路性能。

作為上述 $C(d, y | \mathbf{H})$ 之雙疊代直接計算的替代方案，本發明之實施例僅使用單一疊代來計算容量，因此消除了將所有導頻保留在記憶體中的需求。此簡化的計算是可能的，因為在一小區域（例如數個OFDM符號（例如一訊框中的所有符號）之單一叢集（或14個次載波）之一區域）之 $\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ 及 $\text{abs}(\det(\mathbf{H}_p))$ 係接近常數，表示可能在整個區域找出 $\text{trace}(\cdot)$ 及 $\text{abs}(\det(\cdot))$ 兩者的一平均值。因此，雖然跡（trace）及行列式（determinant）（及雜訊功率）項在時間及頻率持續改變，在某些環境中（例如低移動性環境），可能找出一本地時間/頻率區域，其中這些項的改變小到足夠使在該區域的各個項的平均值被找出。

因此，容量可被近似如下：

$$C(d, y | \mathbf{H}) \approx \log \left(1 + \frac{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)}{\sigma^2} + \frac{\left(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(\mathbf{H}_p)) \right)^2}{\sigma^4} \right). \quad (18)$$

使用（18）允許跡、行列式、及雜訊功率項之平均可以使用單一疊代就完成。例如，行動台可接收一導頻，評估其通道，計算相關的"跡"、"行列式"、及雜訊功率項，且然後捨棄該導頻而不需將其保持在記憶體中。反而，只有累加的（或平均）"跡"、"行列式"、及"雜訊功率"需要儲存在記憶體中，且這三個項係用來計算容量。

圖8說明一訊框810內之叢集820之位置。訊框810另外分割成多個區域，例如區域835，其中（18）之近似可被實施。各個叢集820係由八個導頻821構成，八個導頻821之一半（以白圓圈繪示的那些）係發射自第一發射天線，且八個導頻821之另一半（以黑圓圈繪示的那些）係發射自第二發射天線。（此導頻結構係由802.16e標準界定，且有助於接收器評估通道矩陣H。）亦繪示時間軸850及頻率軸860。

區域835係數個OFDM符號（例如訊框810中的所有符號）之單一叢集（或14個次載波）之一區域的範例。例如，在圖8中，該等黑及白圓圈代表導頻次載波（如之前所提及），且每個方形為2個符號（在時間軸中）之14個音（tone）（在頻率軸中）的一區域。方形亦稱作叢集（例如，叢集820），其包含14x14個次載波，在這些次載波中

為 8 個導頻次載波。(16)、(17)、及(18)被計算的預定區域係為 $N \times M$ 個叢集之區，其中 M 的最大值取決於訊框長度（以符號計），且 N 的最大值取決於快速傅立葉轉換（FFT）頻寬。

圖 9 為流程圖，說明根據本發明之實施例之近似無線網路中之無線網路通道之容量的方法 900。

方法 900 之步驟 910 係為接收複數導頻音。

方法 900 之步驟 920 係為評估複數通道回應矩陣及複數雜訊功率項，使得對於各個該複數導頻音存有一通道回應矩陣及一雜訊功率項，各個該複數通道回應矩陣及各個該複數雜訊功率項對應於該複數導頻音的一不同者。在一實施例中，（仍參照圖 8）我們假設成對之符號的通道矩陣為不變，所以我們使用成對之導頻 823（黑及白，來自各個發射天線）來評估單一矩陣 H 。然而，在最後，我們得到用於各個導頻之 H ，雖然，用於以白圓圈表示之導頻 823 的 H 係等於用於以黑圓圈表示之導頻 823 的 H 。此外，當我們假設成對之符號的 H 為不變時，某些實施例每第二符號計算 $\text{trace}(\cdot)$ 及 $\text{det}(\cdot)$ 。然而，此僅為減少複雜度之實施，且其它實施例可以每個符號計算 $\text{trace}(\cdot)$ 及 $\text{det}(\cdot)$ 。

方法 900 之步驟 930 係為在各個該複數通道回應矩陣（或其函數一見前述）執行跡運算及行列式運算，以得到複數跡及複數行列式。在一實施例中，執行跡運算包含解出 $\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ ，其中 p 為該等導頻音的指數， H 為該通道回應矩陣，以及 $\mathbf{H}^H$ 為已由埃爾米特 (Hermitian) 轉置運算符運算

之後的該通道回應矩陣。在相同或另一實施例中，執行行列式運算包含解出 $\det(\mathbf{H}_p)$ ，其中，再一次地， p 為該等導頻音的指數，且 $\mathbf{H}$ 為該通道回應矩陣。

方法 900 之步驟 940 係為找出複數跡的平均值、複數行列式之絕對值的平均值、及複數雜訊功率項的平均值。在一實施例中，找出複數跡的平均值包含解出 $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ ，其中， P 代表已在其上計算（例如每隔一個（例如每偶數或每奇數）符號） $\text{trace}(\cdot)$ 之該等導頻音的總數。在相同或另一實施例中，找出複數行列式之絕對值的平均值包含解出 $(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(\mathbf{H}_p)))^2$ ，其中， P 再次代表已在其上計算（例如每隔一個（例如每偶數或每奇數）符號） $\det(\cdot)$ 之該等導頻音的總數。在相同或另一實施例中，找出複數雜訊功率項的平均值包含解出 $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$ ，其中， p 如之前一樣係為該等導頻音的指數， σ 為雜訊功率項，且 P 代表在所選區域中之導頻音的總數。

方法 900 之步驟 950 係為將該無線網路通道之容量表示為該複數跡的平均值、該複數行列式之絕對值的平均值、及該複數雜訊功率項的平均值之函數。

方法 900 之步驟 960 係為找出該函數的解。

在一實施例中，方法 900 包含接收複數導頻音之第一導頻音，且然後在接收複數導頻音之第二導頻音之前，評估第一通道回應矩陣、第一雜訊功率項、第一跡、及第一行列式，其皆對應於複數導頻音之該第一導頻音（在接收

複數導頻音之第二導頻音時，對於對應於複數導頻音之該第二導頻音的參數重複該等評估）。在此實施例之一些形式中，方法900另外包含在評估完第一通道回應矩陣、第一雜訊功率項、第一跡、及第一行列式之後，從記憶體裝置捨棄複數導頻音之該第一導頻音，而不需將其儲存直到所有導頻被接收或處理。

雖然本發明已參照特定實施例描述，可理解的是，本領域熟習技藝之人士可進行各類修改，而不會偏離本發明之精神或範圍。因此，本發明之實施例的揭露係為說明本發明之範圍，而非限制。本發明之範圍應只被所附申請專利範圍所要求的範圍所限制。例如，對於本領域熟習技藝之人士，很明顯地在此所討論之方法及相關結構可用各種實施例來實施，且前述某些實施例之討論不必需代表所有可能實施例的完全描述。

此外，已描述關於特定實施例之益處、其它優點、及問題的解決方案。然而，該等益處、優點、問題的解決方案、及可導致任何益處、優點、方案發生或變得明顯的任何元件或多個元件並非建構成任何或所有該等申請專利範圍之關鍵的、要求的、或必要的特徵或元件。

此外，如果實施例及/或限制（1）並未明顯地主張在申請專利範圍中；且（2）在均等論之下，其係為申請專利範圍中之明確元件及/或限制的潛在均等物，則在此所揭露之實施例及限制並未在奉獻論之下奉獻給一般大眾。

【圖式簡單說明】

所揭露之實施例將從上述詳細描述之閱讀連同圖式中
所附之圖得到較佳理解，在圖式中：

圖 1 為流程圖，說明根據本發明之實施例之識別對應
於無線網路通道之預編碼矩陣的方法；

圖 2 為一圖，顯示根據本發明之實施例之使用各種選
擇度量（包含 MMSE 容量度量）可達到之性能；

圖 3 為流程圖，說明根據本發明之另一實施例之識別
對應於無線網路通道之預編碼矩陣的方法；

圖 4 及 5 為流程圖，說明根據本發明之實施例之從儲存
於記憶體裝置中且包含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿識別
用於 M 個次載波之目標預編碼矩陣的方法；

圖 6 及 7 為流程圖，說明根據本發明之實施例之從儲存
於記憶體裝置中且包含複數預編碼矩陣之矩陣編碼簿識別
用於多通道實例之目標預編碼矩陣的方法；

圖 8 說明含有一區域之一訊框，在該區域可實施本發
明之實施例；及

圖 9 為流程圖，說明根據本發明之實施例之近似無線
網路中之無線網路通道之容量的方法。

【主要元件符號說明】

100、300、400、600、900：方法

110、120、130、140、310、320、330、340、410、
420、430、440、450、610、620、630、640、910、920、

930、940、950、960：步驟

500、700：流程圖

810：訊框

820：叢集

821、823：導頻

835：區域

850：時間軸

860：頻率軸

七、申請專利範圍：

1. 一種近似無線網路中無線網路通道容量的方法，該方法包含：

在無線網路的用戶台，接收複數導頻音；

在該用戶台，評估複數通道回應矩陣及複數雜訊功率項，使得對於各個該複數導頻音存有一通道回應矩陣及一雜訊功率項，各個該複數通道回應矩陣及各個該複數雜訊功率項對應於該複數導頻音的一獨特導頻音；

在該用戶台，對各個該複數通道回應矩陣執行跡運算及行列式運算，以得到複數跡及複數行列式；

在該用戶台，找出該複數跡的平均值、該複數行列式之絕對值的平均值、及該複數雜訊功率項的平均值；

在該用戶台，將該無線網路通道之容量表示為該複數跡的平均值、該複數行列式之絕對值的平均值、及該複數雜訊功率項的平均值之函數；以及

在該用戶台，找出該函數的解，以決定該無線網路通道的該容量。

2. 根據申請專利範圍第1項之方法，其中：

執行該跡運算包含解出 $\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ ，其中 p 為該等導頻音的指數， $\mathbf{H}$ 為該通道回應矩陣，以及 $\mathbf{H}^H$ 為已由埃爾米特 (Hermitian) 轉置運算符運算之後的該通道回應矩陣。

3. 根據申請專利範圍第2項之方法，其中：

找出該複數跡的平均值包含解出 $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ ，其中 P 代表已在其上計算 $\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$ 之該等導頻音的總數。

4. 根據申請專利範圍第 1 項之方法，其中：

執行該行列式運算包含解出 $\det(\mathbf{H}_p)$ ，其中 p 為該等導頻音的指數，且 $\mathbf{H}$ 為該通道回應矩陣。

5. 根據申請專利範圍第 4 項之方法，其中：

找出該複數行列式之絕對值的平均值包含解出 $(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(\mathbf{H}_p)))^2$ ，其中 P 代表已在其上計算 $\det(\mathbf{H}_p)$ 之該等導頻音的總數。

6. 根據申請專利範圍第 1 項之方法，其中：

找出該複數雜訊功率項的平均值包含解出 $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$ ，其中 p 為該等導頻音的指數， σ 為該雜訊功率項，且 P 代表該等導頻音的總數。

7. 根據申請專利範圍第 1 項之方法，包含：

在該用戶台，接收該複數導頻音的第一導頻音；

在接收該複數導頻音的第二導頻音之前，在該用戶台評估第一通道回應矩陣、第一雜訊功率項、第一跡及第一行列式，該第一通道回應矩陣、該第一雜訊功率項、該第一跡及該第一行列式對應於該複數導頻音的該第一導頻音。

8. 根據申請專利範圍第 7 項之方法，更包含：

在評估該第一通道回應矩陣、該第一雜訊功率項、該第一跡及該第一行列式之後，從與該用戶台相關的記憶體裝置丟棄該複數導頻音的該第一導頻音。

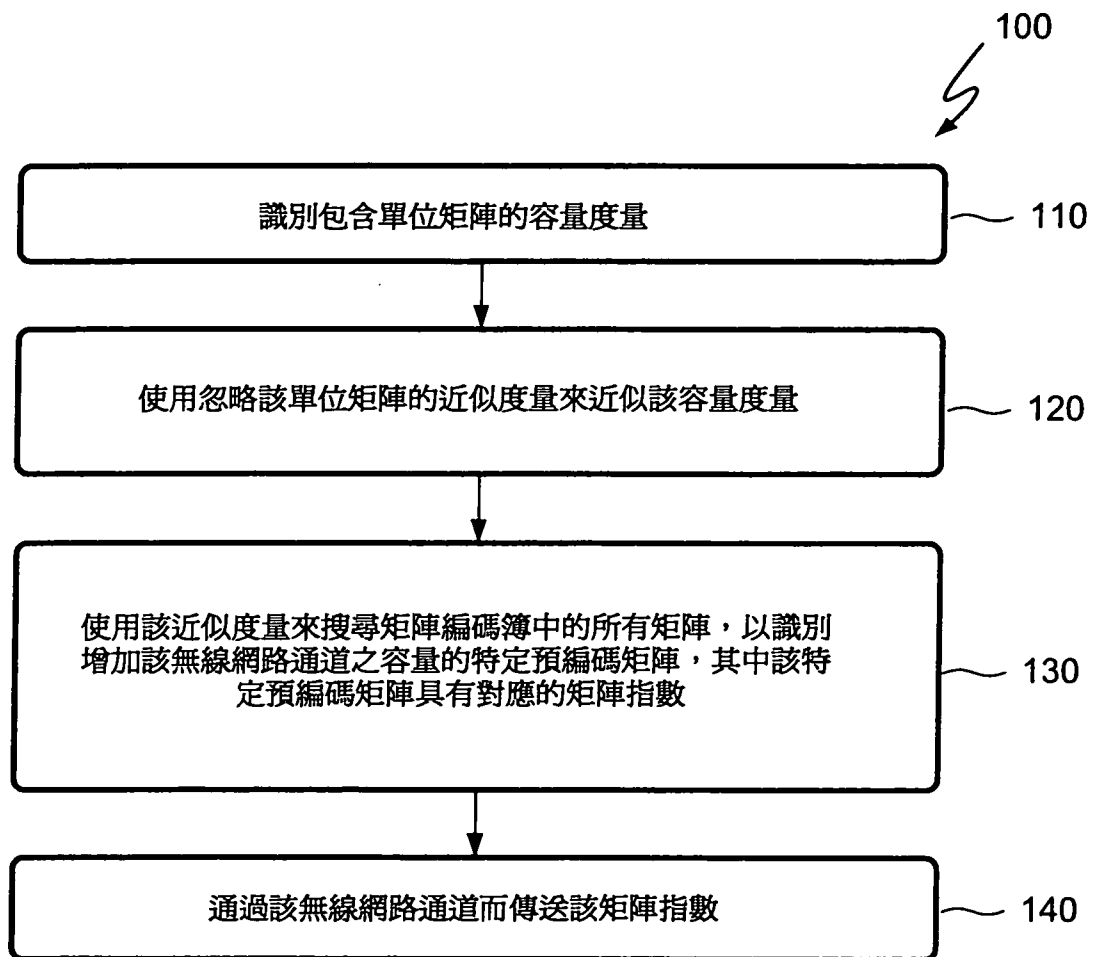


圖 1

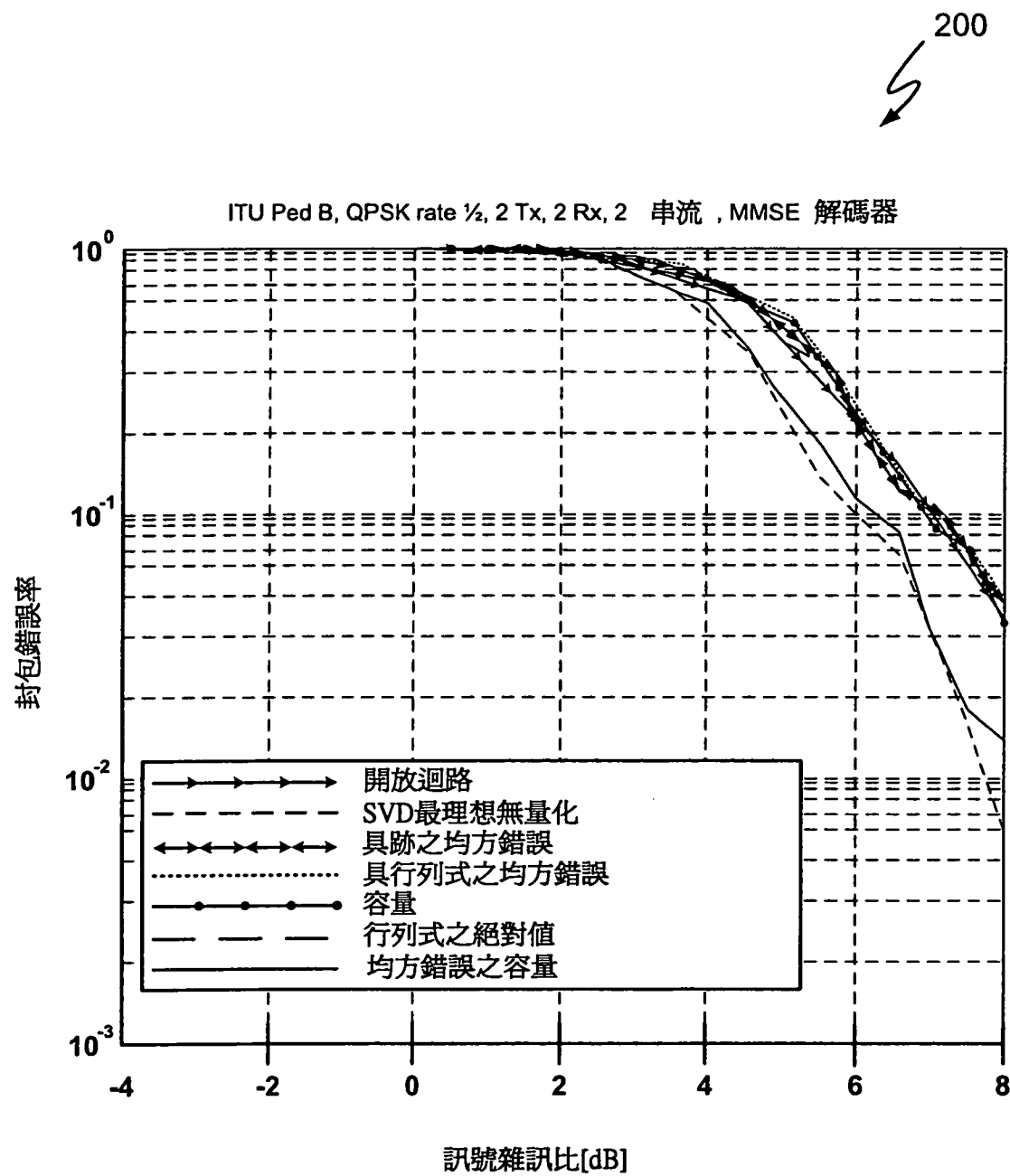


圖 2

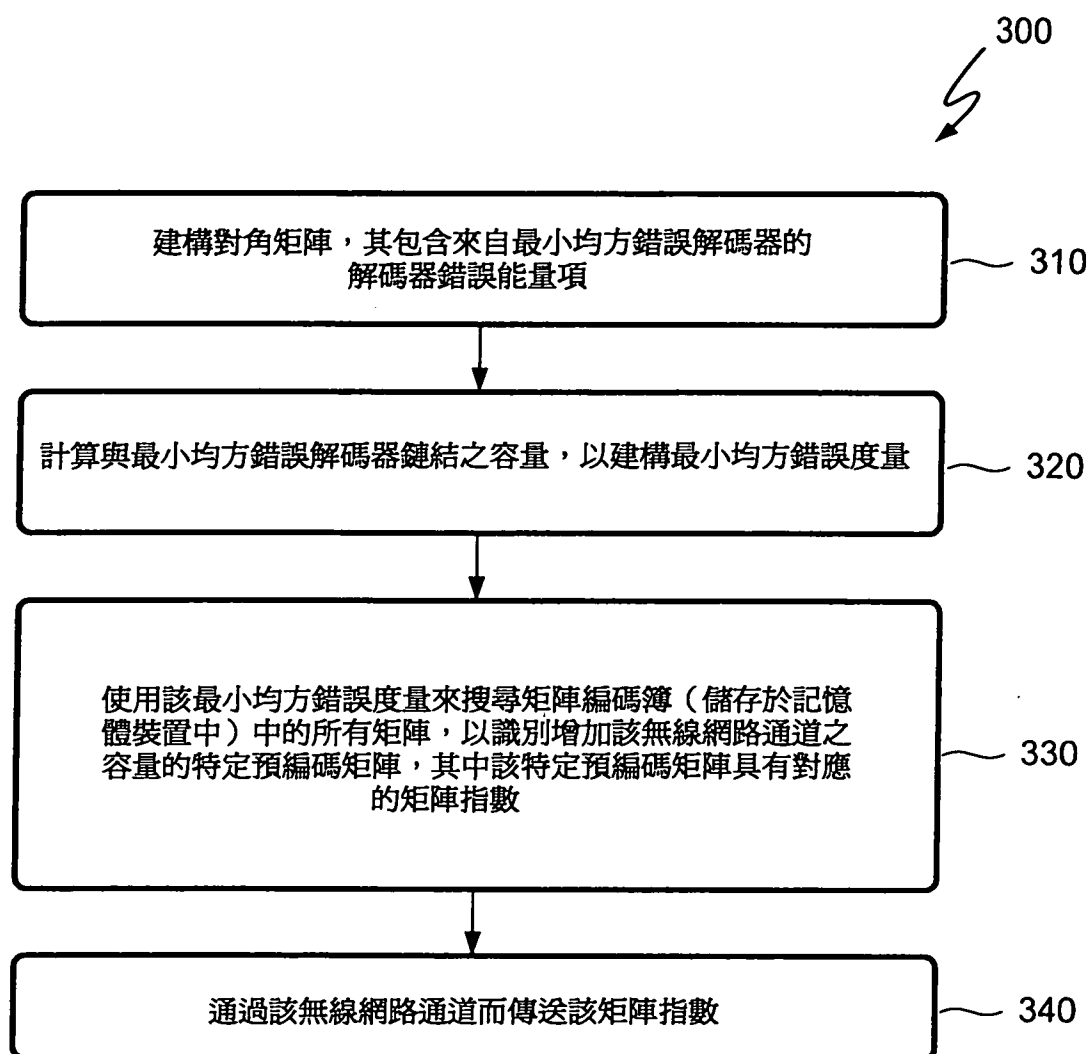


圖 3

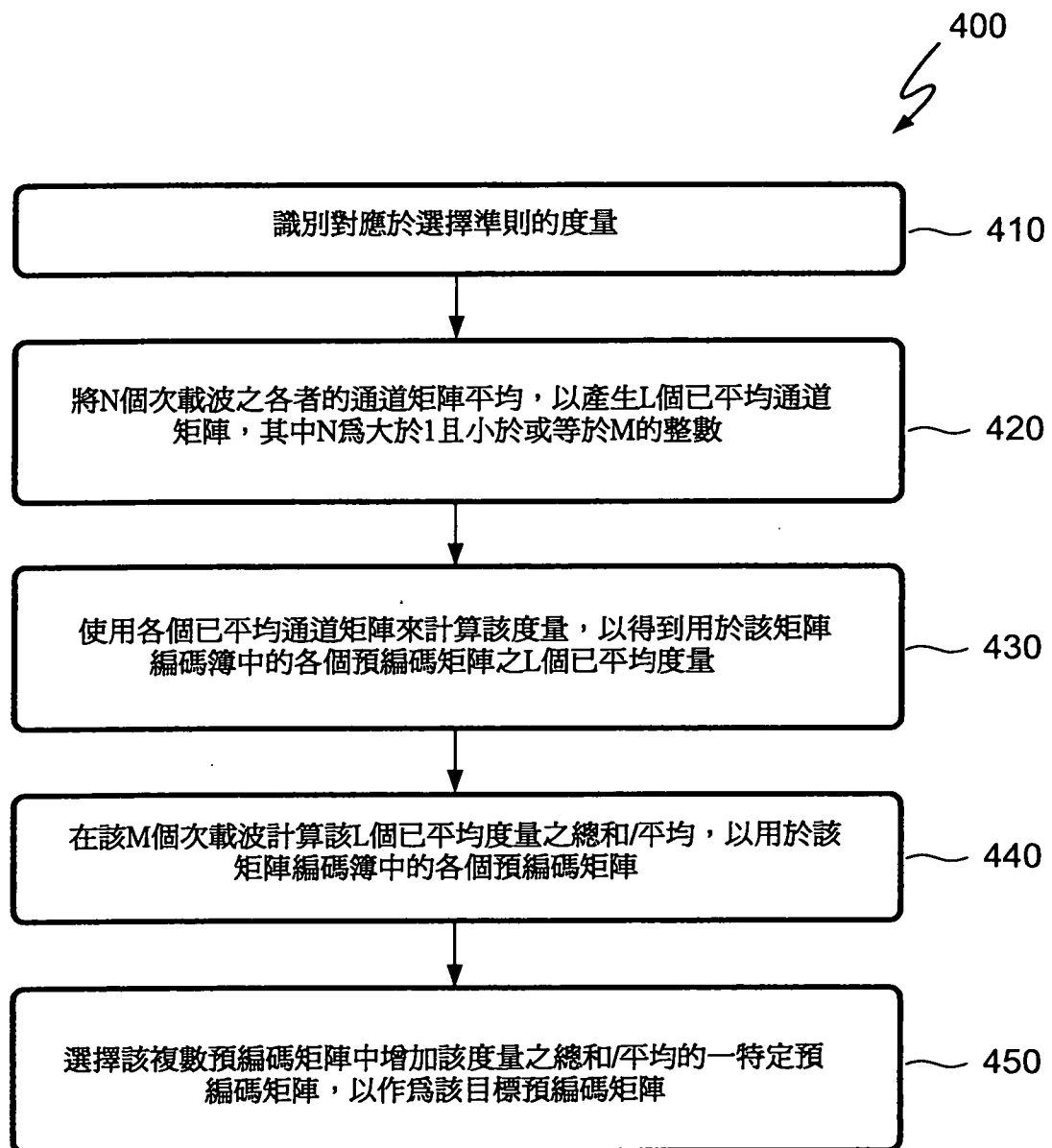


圖4

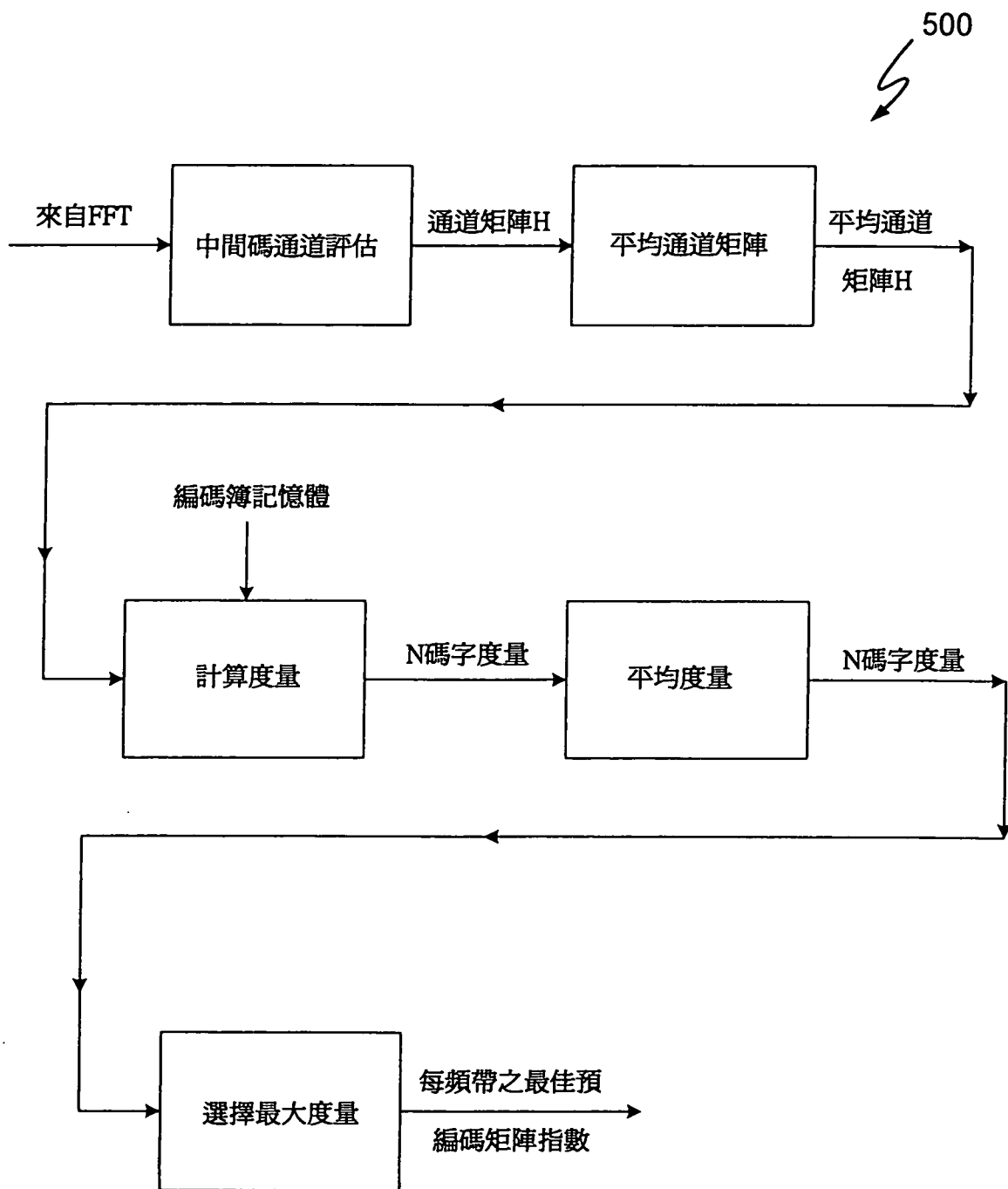


圖5

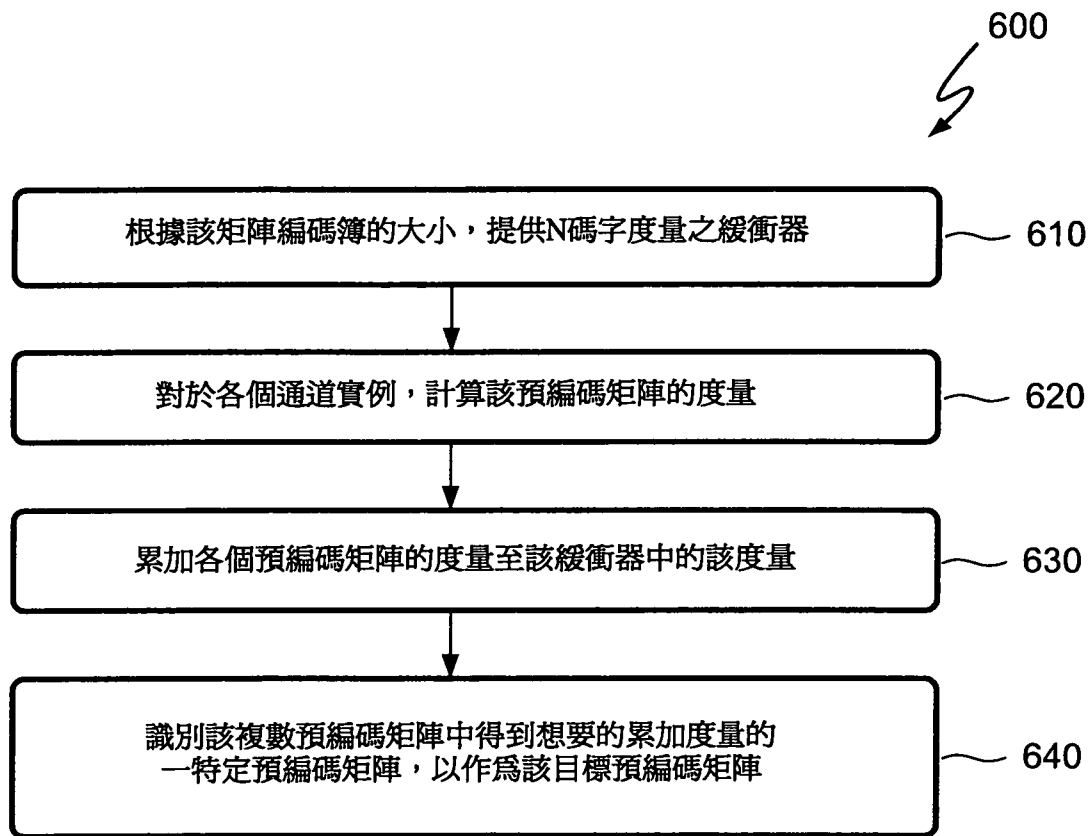


圖6

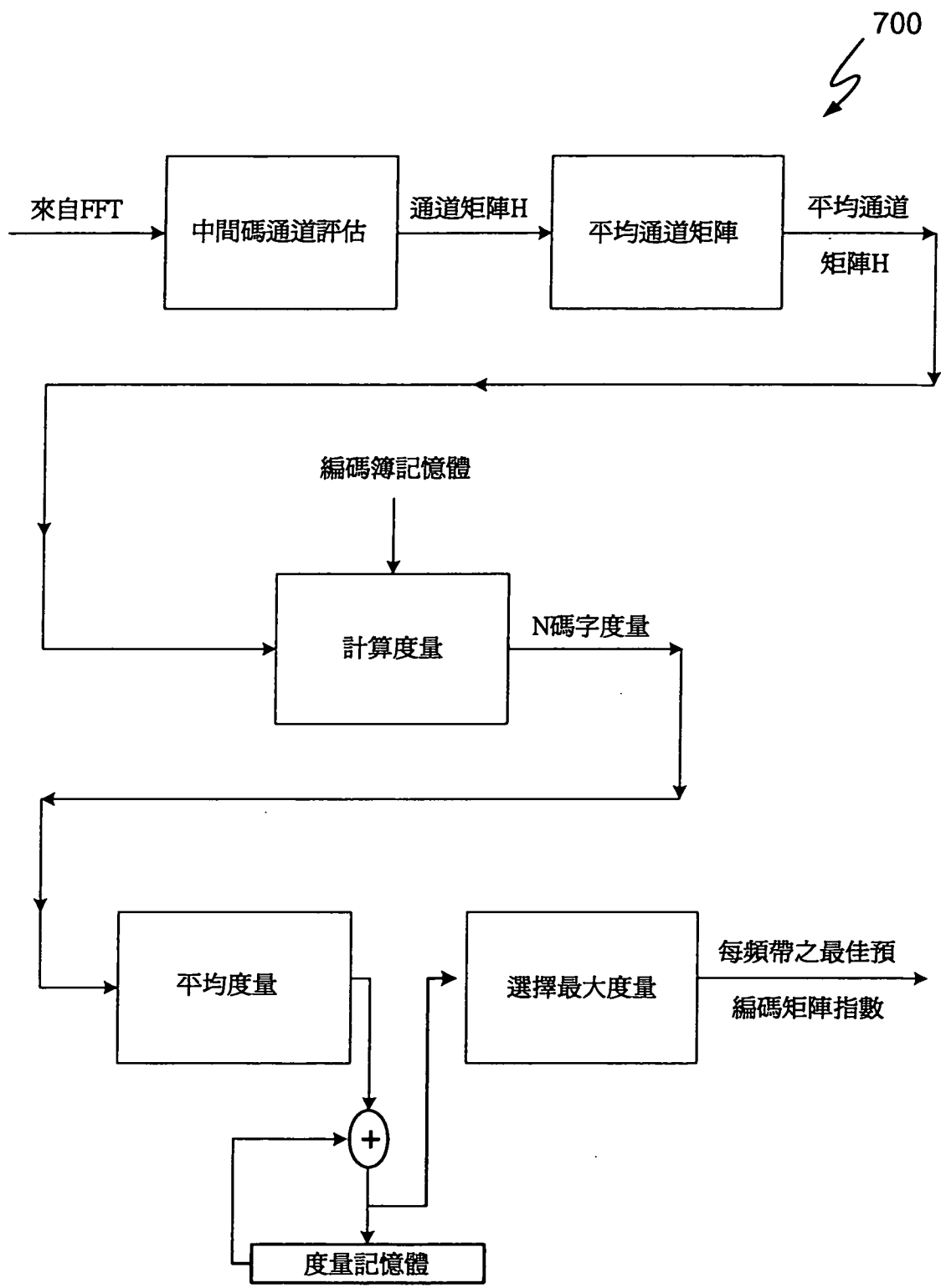


圖7

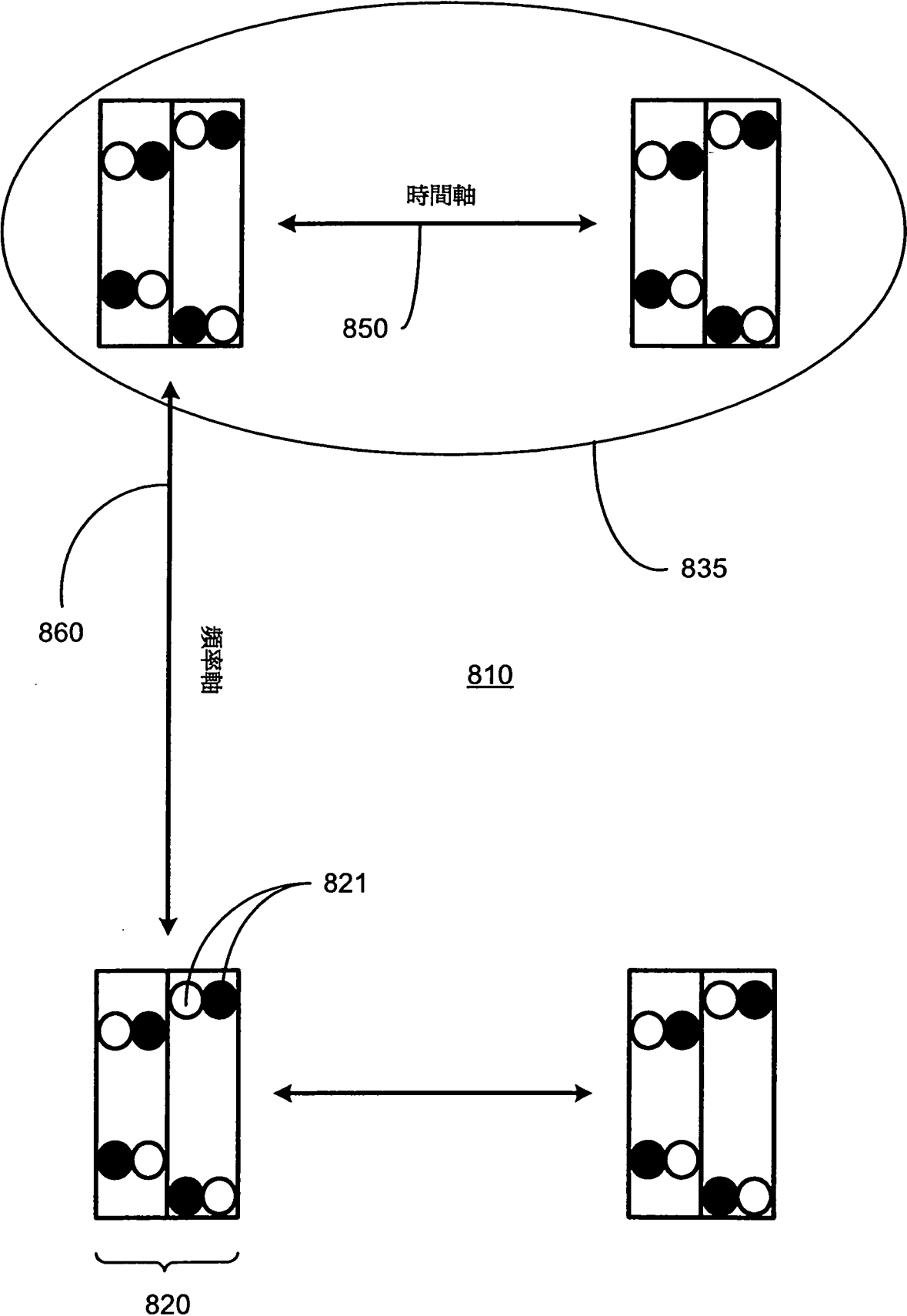


圖 8

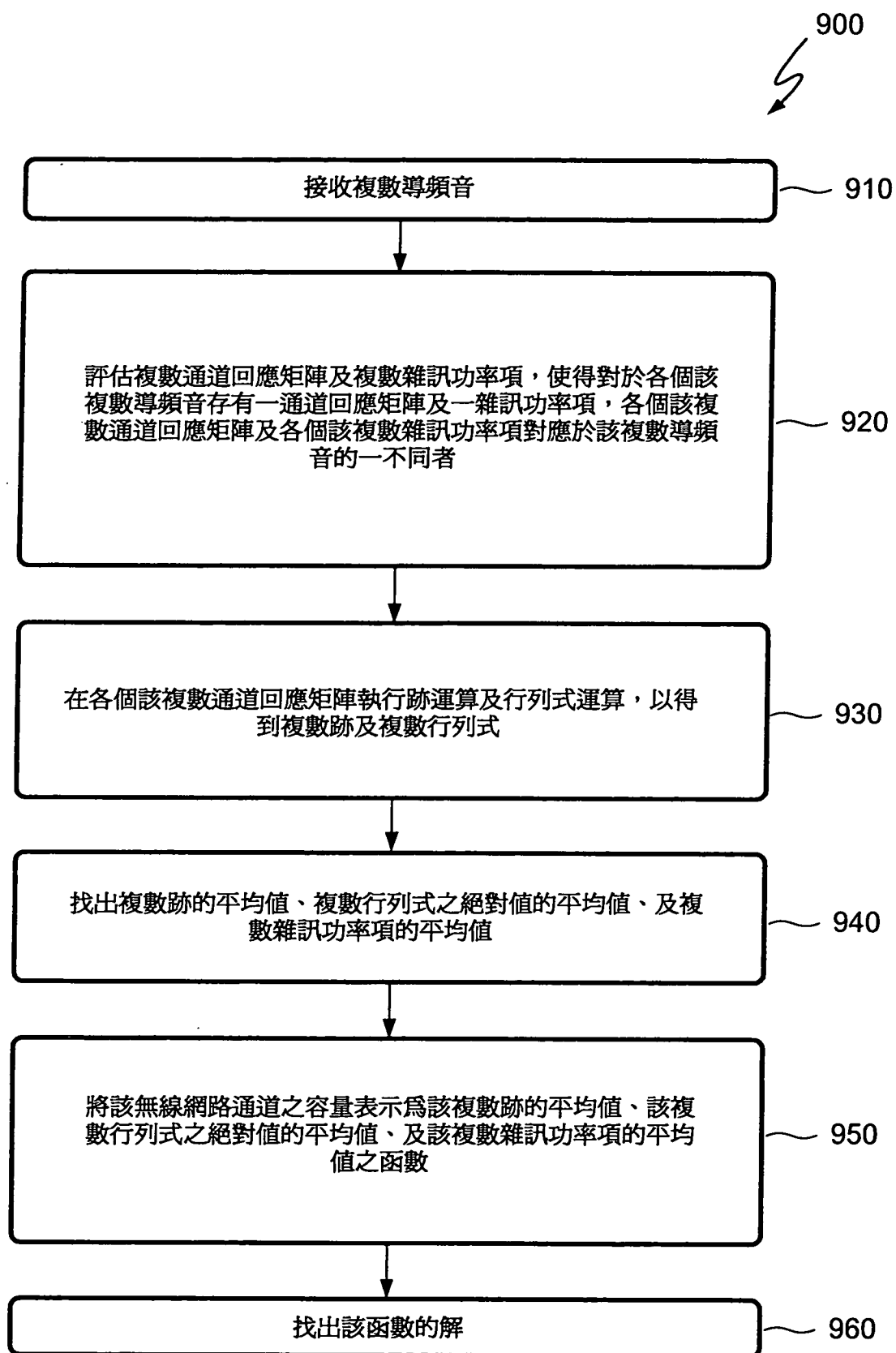


圖 9