

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：96102390

※申請日期：98.1.22

※IPC 分類：G06F11/08(2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

具有編碼與信號處理功能之固態非揮發性記憶體單元及用於操作固態
非揮發性記憶體單元的方法/SOLID STATE NON-VOLATILE
MEMORY UNIT WITH CODING AND SIGNAL PROCESSING AND
METHOD OF OPERATING A SOLID STATE NON-VOLATILE
MEMORY UNIT

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)(簽章)

邁威爾世界貿易有限公司/MARVELL WORLD TRADE LTD.

代表人：(中文/英文)(簽章)

史帝文 派克/ Steven Parker

住居所或營業所地址：(中文/英文)

巴貝多國 BB14027 聖麥可市布靈頓山莊砲台路 L 層 /

L'Horizon, Gunsite Road, Brittons Hill, St. Michael, Barbados BB14027

國 籍：(中文/英文)

巴貝多/ Barbados

三、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 吳吉寧 / Zining Wu

2. 佩達斯 史達佳 / Pantas SUTARDJA

國 籍：(中文/英文)

1. 中國/PRC

2. 美國/US

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 1 月 20 日 、 60/760,622

2.美國 、 2006 年 1 月 25 日 、 60/761,888

3.美國 、 2006 年 2 月 8 日 、 60/771,621

4.美國 、 2006 年 11 月 8 日 、 11/598,178

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明一般地涉及積體電路。更具體地說，本發明涉及用於執行多級固態非揮發性記憶體中的糾錯的方法和系統。

【先前技術】

固態非揮發性記憶體，例如快閃記憶體 EEPROM，被用在各種電子應用中。快閃記憶體以多種儲存卡格式被使用，例如，CompactFlash (CF)、MultiMediaCard (MMC) 和 Secure Digital (SD)。其中使用這類卡的電子系統包括個人電腦和筆記本電腦、手持計算設備、照相機、MP3 音頻播放器等。快閃記憶體 EEPROM 記憶體在許多主機系統中也被用作堆疊大容量儲存裝置。

傳統的固態記憶體將資訊儲存為一系列二進位數字位或者“位”，其可以取兩個不同值（0 或 1）之一。位元被組合在一起來代表更大數位。

如同大多固態非揮發性記憶體器件一樣，快閃記憶體 EEPROM 也易於出現缺陷和故障。錯誤來自若干因素，這些因素包括由於環境條件以及記憶體件的程式化正常操作(包括程式化、擦除和讀取等操作)所帶來的應力，而導致記憶體狀態的閾值電平的逐漸偏移。為了防止操作期間發生錯誤，在快閃記憶體記憶體件中使用了改錯碼 (ECC) 技術。一般而言，在程式化操作期間，控制器產生被附加到資料磁區的末尾的冗餘位（奇偶位）。例如，一個 512 位元組的資料磁區可能附加有 16 位元組的 ECC，從而產生一個 528 位元組的頁面。在讀操作期間，16 位元組的 ECC 資料中包括的冗餘數據，被用來檢測從快閃記憶體讀取的資料中的錯誤，並且糾正這些錯誤。

對於傳統記憶體，最大儲存密度是由單獨的記憶元件的大小和在單個積體電路晶片上可以積體化的記憶元件的數目來決定。一般來說，通過縮減用於製造記憶體單元的工藝的幾何線寬，從而增大了記憶體密度。

用於增大固態非揮發性記憶體密度的另一種技術是每個記憶體單元儲存多於一個位，這種記憶體單元被稱作多級記憶體單元。不是感測在給定的記憶體單元中是否儲存了電荷（即，二進位單元），多級記憶體利用感測放大器（sense amplifier）感測電容性儲存單元中儲存的電荷量。通過將信息量化成大於二進位的單位（例如，4 級（2 位元/單元）、8 級（3 位元/單元）、16 級（4 位元/單元）單位等等），並且儲存這些多級單位，從而可以增大記憶體密度。作為示例，一個單元可以被程式化來產生四個不同的閾值電平，從而產生四個不同的讀回級別。利用每個單元可用的四級信號，兩個資料位元可以被編碼到每個固態非揮發性記憶體單元中。多級記憶體由於每個記憶體單元可以儲存多於一個位，所以可以在不增加記憶體單元的數目的情況下，使得能夠製造更高密度的記憶體。僅作為示例，對於能夠儲存 2 位元/單元的記憶體單元，可能有三個程式化狀態和一個擦除狀態。圖 1 是具有 4 級量化的固態非揮發性記憶體單元的作為電壓的函數的簡化概率分佈函數（PDF）。在圖 1 所示的記憶體單元中，利用了四個程式化狀態。如圖所示，在某些固態非揮發性記憶體中，程式化特性的 PDF 在較低電壓級別時具有較寬的分佈。

但是，增大單元中的量化級別的數目，會導致相鄰級別之間的電壓差減小。在多級編碼系統中，這種減小有時被稱作減小的信號距離（減小的 $D_{\min}$ ）。減小的信號距離可能影響非揮發性記憶體的寫（程式化）和讀操作的性能。在程式化期間，與僅對電容性單元完全充電或者完全放電相比，將多個離散單位的電荷傳送到該單元更加困難。因此，傳送到給定單元的電荷量中的不確定性可能導致級別偏移，從而導致“程式化擾動”，其中錯誤的級別被儲存到該單元中。在讀取期間，當一個信號級別的分佈與相鄰信號級別的分佈重疊時，就會發生“讀取擾動”。因為信號距離被減小了，所以與二進位儲存單元相比，單元中儲存的離散值的數目的增加減少了該單元的雜訊餘量，這使得記憶元件更易於錯誤讀出。對於低級別信號讀取擾動更常見，這是由於較大的雜訊分佈所導致，如圖 1 所示。

與傳統的固態非揮發性記憶體單元相比，減少多級固態非揮發性記憶體中相鄰級別之間的電壓隔離可能導致錯誤數目增加。因此，期望提供改進的方法和技術用於操作具有多級單元的固態非揮發性記憶體。

【發明內容】

根據本發明一個實施例，提供了一種固態非揮發性記憶體單元，該記憶體單位元包括編碼器、適於儲存由該編碼器編碼的資料的多級固態非揮發性記憶體陣列，以及適於對從記憶體陣列獲得的資料進行解碼的解碼器。在一個實施例中，該記憶體單元被佈置在積體電路中。記憶體陣列可以是快閃記憶體EEPROM陣列。

在一個實施例中，該記憶體單元還包括適於向第一編碼器提供已編碼資料的第二編碼器，以及適於對由第一解碼器提供的資料進行解碼的第二解碼器。第一編碼器可以執行與第二編碼器適於執行的第二ECC不同的第一ECC。在一些實施例中，第二編碼器包括Reed-Solomon編碼器。

在一些實施例中，該記憶體單元還部分包括調製器和解調器。由調製器調製的資料隨後被儲存在記憶體陣列中。解調器對從該記憶體陣列獲得的資料進行解調。

在一些實施例中，第一編碼器是二進位編碼器，該編碼器根據例如漢明碼、BCH碼、Reed-Muller碼和陣列碼對資料進行編碼。在其他實施例中，第一編碼器是非二進位編碼器，該編碼器根據例如Reed-Solomon (RS) 碼對資料進行編碼。

在一些實施例中，第一編碼器是卷積編碼器。在其他實施例中，第一編碼器和調製器形成網格編碼調製器。第一編碼器可以是根據例如低密度奇偶校驗碼和Turbo碼對資料進行編碼的疊代編碼器。第一編碼器還可以是基於符號的疊代編碼器。

根據本發明一個實施例提供了一種用於操作固態非揮發性記憶體單元的方法，該方法包括：對第一資料進行編碼；將已編碼的第一資料儲存到多級固態非揮發性記憶體陣列中；以及對從該記憶體陣列獲得的第一資料進行解碼。該記憶體陣列是快閃記憶

體 EEPROM 陣列。

在一個實施例中，該方法還包括對第二資料進行編碼來產生第一資料，以及對已解碼的第一資料進行解碼來產生第二資料。對第一資料的編碼可以根據第一 ECC 執行，第一 ECC 與對第二資料進行編碼所根據的第二 ECC 不同。第二資料可以根據 Reed-Solomon 碼被編碼。

在一些實施例中，該方法還部分包括對已編碼資料進行調製，將調製後的資料儲存到記憶體陣列中，以及對從記憶體陣列中獲得的資料進行解調。在一些實施例中，資料可以根據二進位碼而被編碼，所述二進位碼例如是漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼。在其他實施例中，資料可以根據非二進位碼被編碼，所述非二進位碼例如是 Reed-Solomon 碼。

在一些實施例中，資料可以根據卷積碼而被編碼。在其他實施例中，對資料的編碼和調製可以根據網格編碼調製而被執行。在一些實施例中，資料可以根據疊代碼而被編碼，所述疊代碼例如是低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼。疊代碼可以是基於符號的疊代碼。

根據本發明的一個實施例，一種固態非揮發性記憶體單元包括：用於對第一資料進行編碼的裝置；用於將已編碼的第一資料儲存到多級固態非揮發性記憶體陣列中的裝置；以及用於對從記憶體陣列獲得的第一資料進行解碼的裝置。該記憶體陣列是快閃記憶體 EEPROM 陣列。

在一個實施例中，該記憶體單元還包括用於對第二資料進行編碼來產生第一資料的裝置，以及用於對已解碼的第一資料進行解碼來產生第二資料的裝置。用於對第一資料進行編碼的裝置可以執行與由第二編碼裝置所執行的第二 ECC 技術不同的第一 ECC 技術。第二編碼裝置可以是 Reed-Solomon 編碼器。

在一些實施例中，該記憶體單元還部分包括用於對已編碼資料進行調製的裝置，以及用於對從記憶體陣列中獲得的資料進行解調的裝置。在一些實施例中，編碼裝置可以利用諸如漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼之類的碼來執行二進位編碼。在

其他實施例中，編碼裝置可以利用諸如 Reed-Solomon 碼之類的碼來執行非二進位編碼。

在一些實施例中，編碼裝置可以執行卷積編碼。在其他實施例中，編碼裝置和調製裝置可以執行網格編碼調製。在一些實施例中，編碼裝置可以利用諸如低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼之類的碼執行疊代編碼。疊代碼可以是基於符號的疊代碼。

根據本發明的一個實施例，一種固態非揮發性記憶體單元包括用於對第一資料進行編碼的代碼，用於將已編碼的第一資料儲存到多級固態非揮發性記憶體陣列中的代碼，以及用於對從記憶體陣列獲得的第一資料進行解碼的代碼。該記憶體陣列可以是快閃記憶體 EEPROM 陣列。

在一個實施例中，該記憶體單元還包括用於對第二資料進行編碼來產生第一資料的代碼，以及用於對已解碼的第一資料進行解碼來產生第二資料的代碼。用於對第一資料進行編碼的碼可以是與用來對第二資料進行編碼的第二 ECC 碼不同的 ECC 碼。用於對第二資料進行編碼的碼可以是 Reed-Solomon 碼。

在一些實施例中，該記憶體單元還部分包括用於對已編碼資料進行調製的代碼，以及用於對從記憶體陣列中獲得的資料進行解調的代碼。在一些實施例中，用於對資料進行編碼的碼可以是二進位碼，例如，漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼。在其他實施例中，用於對資料進行編碼的碼可以是非二進位碼，例如，Reed-Solomon 碼。

在一些實施例中，用於對資料進行編碼的碼可以是卷積碼。在其他實施例中，編碼碼和調製碼可以是網格編碼調製碼。在一些實施例中，用於對資料進行編碼的碼可以是疊代碼，例如，低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼。疊代碼可以是基於符號的疊代碼。

【實施方式】

圖 2A 是未編碼的 1 位元 PAM（脈衝幅度調製）方案的星座圖，根據該方案資訊被儲存為 0（-1 伏）或者 1（+1 伏）。圖 2B 是利用平均功率為 1 的 PAM 方案調製的兩位元資料的星座圖。由

兩位元定義的四個狀態（即，狀態 00、01、10 和 11）被映射到四個可能的電平之一，例如， $-3/\sqrt{5}$ 伏、 $-1/\sqrt{5}$ 伏、 $+1/\sqrt{5}$ 伏和 $+3/\sqrt{5}$ 伏。給定這些電壓，具有 $1/2$ 編碼碼率的 2 點 PAM (2-PAM) 和 4 點 PAM (4-PAM) 提供了 1 位元/單元頻譜效率，並且由等功率表徵。對於圖 2B 所示調製方案，具有格雷 (Gray) 映射的 4 狀態碼與 4 狀態自然映射相比減少了位元錯誤率。

在固態非揮發性記憶體器件中，在浮動閘 (floating gate) 處施加的最大電壓限制了可用於映射多級符號的最大電壓。這種電壓限制產生了對所採用的調製和編碼方案的星座值的峰值約束。因此，對於固態非揮發性儲存器件，星座點必需考慮到這種限制。固態非揮發性記憶體系統的最大電壓約束特性與其中可以獲得額外的功率增長的其他通道形成了對照。因此，本發明的實施例利用了用於被設計來儘管存在這種約束也可以工作的多級固態非揮發性記憶體的調製和編碼方案。

圖 2C 是在固態非揮發性記憶體單元中使用的峰值被閒置在 ± 1 的 PAM 方案調製的兩位元資料的星座圖。符號 00 被映射到 -1 伏的信號幅度，符號 10 被映射到 $+1$ 伏的信號幅度，在本示例中， $+1$ 伏的信號幅度對應於給定固態非揮發性記憶體單元儲存的最高電壓。採用功率縮放來考慮固態非揮發性記憶體單元上的最大可允許電壓，可見自由距離的平方按照因數 $5/9$ 被減小，相對於未編碼的 2-PAM 系統產生了 0dB 編碼增益。

信號雜訊比 (SNR) 隨著級別數目的增加而降低。但是，SNR 下降的斜率對於這兩種系統是不同的。參見圖 2B 和圖 2C，SNR 與星座圖中的最近鄰居之間的最小距離相關。結果，固態非揮發性記憶體器件中的電壓約束減小了可用最小距離和 SNR。因此，對於給定的級別數目，與其他已知系統相比，這些記憶體系統一般具有較低的 SNR。由於這些差異，根據本發明各個實施例的編碼和調製技術適於固態非揮發性記憶體的環境特性。

對於未編碼系統，假設等能量的星座，則錯誤概率 (P_{uncoded}) 的上限由下述公式規定：

$$P_{uncoded} \leq A_{min} Q\left(\sqrt{\frac{d_{min}^2}{2N_0}}\right) \approx \frac{A_{min}}{2} \exp\left(\frac{-d_{min}^2}{4N_0}\right), \quad (1)$$

其中， A_{min} 是最近鄰居的數目， d_{min}^2 是星座中兩點之間的最小距離的平方，並且 $Q(x)$ 是互補誤差函數（co-error 函數）。

對於已編碼系統：

$$P_{coded} \leq A_{dfree} Q\left(\sqrt{\frac{d_{dfree}^2}{2N_0}}\right) \approx \frac{A_{dfree}}{2} \exp\left(\frac{-d_{dfree}^2}{4N_0}\right), \quad (2)$$

其中， d_{free} 是最小距離。

漸進編碼增益通過以下公式獲得：

$$\gamma = \frac{d_{dfree}^2}{d_{min}^2}, \quad (3)$$

對於已編碼系統，最小距離 d_{free} 相對於未編碼系統一般被減小，從而導致大於 1 的漸進編碼增益。但是，最近鄰居的數目也增加，從而使得真實編碼增益在一定程度上被減小了。

圖 3A 是根據本發明實施例的具有 ECC 的示例性固態非揮發性記憶體單元 300 的簡化框圖。要被寫入到多級固態非揮發性記憶體 314 的多級記憶體單元的用戶資料，是由編碼器 310 採用 ECC 編碼來添加冗餘符號。已編碼資料被傳遞到調製器 312 以進行通道編碼。根據本發明的實施例，可以使用多種編碼和調製技術中的任意一種。

多級固態非揮發性記憶體 314 接收來自調製器 312 的已編碼並且已調製的資料。多級固態非揮發性記憶體 314 可以是快閃記憶體 EEPROM 等。一般而言，多級快閃記憶體包括一個和多個快閃記憶體單元陣列、以及讀和寫（程式化）電路。除了多級快閃記憶體之外，在本發明的範圍內還包括其他類型的固態非揮發性記憶體技術。諸如快閃記憶體之類的浮動閘記憶體單元在這裏僅作為示例被討論在整個說明書中描述的本發明的實施例在適當修改的情況下也適用於除浮動閘技術之外的其他記憶體技術。本領域技術人員將認識到許多變體、修改和替換。

資料從多級固態非揮發性記憶體 314 被讀出，然後傳遞到解

調器 316 和解碼器 318。本發明實施例中的解調器包括適於抽取與多級固態非揮發性記憶體 314 中儲存的資料相關的軟資訊的信號處理邏輯。在傳統二進位非揮發性記憶體系統中，閾值探測器被用來確定與特定單元相關聯的電壓值是小於還是大於給定的閾值。這種基於閾值的方法，在多級記憶體系統中也被利用，其中閾值探測電路僅利用更大量的閾值。儘管某些多級記憶體系統包括跟蹤處理或者其他變體並且相應地調整閾值的電路，但是這些系統輸出多個可能值中的值，所述可能值的數目與多級系統中的級別數目相等。因此，例如，對於傳統的四級非揮發性記憶體，感測放大器將產生代表四個值之一的資料信號。

與傳統的多級記憶體系統相比，本發明的實施例利用產生具有多個可能值的輸出的解調器，其中所述可能值的數目大於多級固態非揮發性記憶體 314 所提供的級別數目。該資訊有時被稱作軟資訊，這是因為輸出了除多級記憶體中儲存的值之外的資訊。僅作為示例，作為解調器 316 的一部分或者與解調器 316 一起工作的類比/數位 (A/D) 轉換器或者探測器回應於與例如四級記憶體通信設置的感測放大器探測出的值，提供具有例如 32 個可能值的輸出信號。本發明的實施例不限於使用具有 32 個級別的輸出信號，作為其他輸出信號，例如具有 8、16 或者更多個級別的輸出信號也包括在本發明的範圍中。在一些應用中，軟資訊被傳遞到軟資訊解碼器（未示出）用於處理。在本發明的實施例中，由解調器 316 提供的軟資訊在資訊處理操作期間被用來提高從多級固態非揮發性記憶體 314 讀取資料的可靠性。

在本發明的實施例中，編碼器 310、調製器 312、解調器 316 和解碼器 318 是與多級固態非揮發性記憶體 314 通信的控制器的元件。一般來說，儲存器件包括安裝在卡上的一個或多個記憶體晶片。每個記憶體晶片可以包括記憶體單元陣列，以及執行諸如程式化、讀取和擦除之類的操作的積體電路。根據本發明的實施例，執行這些操作的控制器電路可能（或可能不）被佈置在記憶體晶片中，也可能被佈置在其中的積體電路 (IC) 中。這裏所提供的控制器不限於執行編碼/解碼和調製/解調處理，而是還可以提

供其他功能，例如，磨損均衡（wear leveling）和介面處理。

本發明的實施例使得系統設計者能夠增大現有固態非揮發性記憶體記憶體密度。如整個說明書中更全面描述的，與傳統系統相比，讀和寫錯誤的增大情況可利用這裏所提供的技術和方法來校正。因此，儘管試圖通過引入額外的級別來將例如四級記憶體系統用於例如八級應用時，可能在讀操作期間產生在給定的性能量度下，比以其他方式可接受錯誤更多的錯誤，但是這裏所述的技術可以被用來在解調過程期間校正這種錯誤，並且使得能夠在八級應用中使用例如四級記憶體系統。因此，根據本發明，現有固態非揮發性記憶體系統的記憶體密度在仍舊使用某些相同元件的同時可以得到提高，所述元件包括記憶體陣列、讀感測器等。

圖 3B 是根據本發明實施例的結合了 A/D 轉換器的固態非揮發性記憶體單位 350 的簡化框圖。如圖 3B 所示，編碼器 360 和調製器 362 將已編碼並且已調製的資料提供給多級固態非揮發性記憶體 364。A/D 轉換器 366 接收來自多級固態非揮發性記憶體 364 的信號。由 A/D 轉換器 366 輸出的數位信號具有與多級固態非揮發性記憶體 364 相關聯的級別數目更高的解析度（由更多級別表徵）。僅作為示例，在特定實施例中，多級固態非揮發性記憶體 364 例如是四級記憶體，該記憶體在每個單元中提供 2 位元的儲存。在讀操作期間，A/D 轉換器 366 根據特定應用，將與記憶體 364 的一個或多個單元相關聯的類比信號轉換成例如 8、16、32 或 64 級之一。在其他實施例中使用了比四級多的其他級別數目。在解調器 368 中駐留的信號處理演算法利用 A/D 轉換器 366 的輸出來確定一個單元包含與該單元中儲存的四個級別之一相關聯的資料的可能性。本領域技術人員將認識到許多變體、修改和替換。

在傳統固態記憶體中，在資料從記憶體中被讀取時，ECC 技術被用來檢測和校正錯誤。這種 ECC 技術僅對由感測放大器產生的二進位或者多級數位資料起作用。另一方面，根據本發明，解調器 316 所產生和利用的軟資訊不僅包括二進位或多級數位資料，而且還包括額外的資訊。軟資訊一般由在執行如下的信號處理技術時有用的分佈表示，其中一旦資料已被減小到在數目上與

多級系統中的級別數目相等的基於閾值的數位值，所述信號處理技術一般不適用。

利用本發明的實施例，與未編碼系統相比，對於多級固態非揮發性記憶體系統，實現了正的編碼增益。表 1 示出了作為編碼的狀態數目的函數的已卷積編碼的 2 位元/單元多級非揮發性記憶體，其相對於未編碼的 1 位元/單元非揮發性記憶體的示例性編碼增益。如第一行的條目所示，對於 4 狀態系統（圖 2A-2C 所示），與未編碼系統相比的編碼增益是 0dB。但是，隨著狀態數目增加，與未編碼系統相比的編碼增益為正。

表 1

狀態數目	編碼增益 (dB)
4	0
8	0.46
16	0.87
32	1.50

表 2 示出了作為編碼的狀態數目的函數的已卷積編碼的 3 位元/單元多級非揮發性記憶體相對於未編碼的 2 位元/單元多級非揮發性記憶體的示例性編碼增益。如表所示，對於具有 4 個或更多個狀態的 1 位元/單元多級非揮發性記憶體，具有四個或更多個狀態的系統的編碼增益與未編碼系統相比為正。

表 2

狀態數目	編碼增益 (dB)
4	2.18
8	2.64
16	3.05
32	3.78

圖 4 是根據本發明另一個實施例的具有糾錯功能的固態非揮發性記憶體 400 的簡化框圖。如圖 4 所示，外編碼器 410 將已編碼資料提供給內編碼器 412。作為示例，外編碼器 410 可以是 Reed-Solomon 編碼器，而內編碼器可以是 LDPC 編碼器。這些編

碼技術僅被用作示例，而不是要限制本發明的範圍。本領域技術人員將認識到許多變體、修改和替換。調製器 414 接收來自內編碼器 412 的已編碼資料，並且在在程式化操作期間將其儲存到多級固態非揮發性記憶體 416 之前對資料進行調製。在讀操作期間，多級固態非揮發性記憶體 416 中儲存的資料被提取，並且被提供給解調器 418、內編碼器 420 和外編碼器 422。

包括前向糾錯碼 (FEC) 在內的任何數量的改錯碼 (ECC)，可以根據本發明的實施例被用來通過向所傳輸的資料添加結構化冗餘，來提高功率受限的和/或帶寬受限的通道的位元元錯誤率 (BER) 性能。例如，塊碼 (block code) 可以被用來對通道的具有加性突發雜訊 (隨機多位元錯誤) 的資料塊進行編碼。應當理解，本發明適用於在編碼和儲存之前不對用戶資料進行操縱的對稱編碼器，也適用於非對稱編碼器。

可以使用包括例如諸如漢明 (Hamming) 碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列 (Array) 碼之類的二進位碼和諸如 Reed-Solomon (RS) 碼之類的非二進位碼在內的多種不同的線性塊碼中的任意一種。對塊大小的選擇取決於 SNR 和所使用的代碼。例如，假設每單元的電壓級別從 4 增大到 8，並且每三個單元被組合到一起來形成 9 位元的符號。採用 (511,451) Reed-Solomon 碼，基於 $GF(2^9)$ ，碼字長度為 $511 \times 9 = 4599$ 位，並且碼率為 $451/511 \approx 0.883$ 。因此，已編碼系統的儲存容量是 $3 \times 451/511 \approx 2.6$ 位元/單元，這表明與未編碼 4 級系統相比容量增大了 32%。這種已編碼系統的字元錯誤率 (WER) 與圖 5 中的 4 級未編碼系統相當。可見，在 $WER < 10^{-8}$ 時，RS 已編碼系統的輸出勝過未編碼系統。因此，利用上述 RS 編碼，實現了更好的可靠性和更高的容量。

根據本發明的其他示例性實施例，例如，在符號之間的雜訊獨立時，卷積碼 (convolution code) 被用來編碼資料。卷積碼將關聯性引入到編碼資料中，並且從而增大了在解碼器處的最小距離。卷積碼被應用到串列發送的儲存資料 (即被儲存在固態非揮發性記憶體中或從固態非揮發性記憶體讀取的資料)，但這種資料會受高斯雜訊影響。卷積碼是漸進碼。在任意時刻，卷積編碼器的輸出

可能取決於過去的輸入值和當前的輸入值。因此，卷積碼一般主要用於對跨有序前進的資料值的錯誤進行糾正。所以，這種碼可以被用在以有序漸進流（即，資料流程）的形式儲存和讀出資料的多級固態非揮發性記憶體中。

解碼器接收硬判決輸入或者多級量化的輸入。已知軟輸入使探測器處發生的錯誤更少。圖 6 示出了示例性 1/2 碼率卷積編碼器 600 的各個塊。由模態 2(modulo-2)加法器 610 產生的輸出 C2，是由移位寄存器 602、604、606 和輸入 U 來限定。例如，如果電壓級別從四增大到八，則應用 3/4 碼率卷積碼來獲得 $3 \times 3/4 = 2.25$ 位元/單元，從而儲存容量增加了 10%。爲了實現與未編碼 4 級系統相同的誤碼率，卷積碼的自由距離必須大於 $(7/3)^2 = 5.44$ 。具有六個記憶體單位的 3/4 卷積編碼器將要求具有 $2^6 = 64$ 個狀態的維特比(Viterbi)解碼器。

網格編碼調製 (TCM) 將卷積碼與群集分割(set-partitioning)組合來實現高碼率、高編碼增益和低解碼複雜度。多個星座點可以被劃分成更小的子集(subset)，其中與原始星座中的相比每個子集中的點被進一步分離。圖 7 示出了一個 2-D 群集分割的示例，其中多個點“•”代表一個子集，並且十字“×”代表另一個子集。如果原始星座點之間的最小距離是 d ，則每個子集中的點之間的最小距離是 $\sqrt{2}d$ 。在具有加性白高斯雜訊 (AWGN) 通道（例如，快閃記憶體讀路徑通道）的系統中，支配系統性能的參數不是卷積碼的自由漢明距離，而是傳輸的信號序列之間的自由歐幾裏得 (Euclidean) 距離。因此，對 TCM 設計的優化是基於歐幾裏得距離而非漢明距離的。

圖 8 示出了 TCM 800 的一個示例。輸入位被分隔成兩組，第一組具有 k_1 位，通過 $k_1/(k_1+1)$ 碼率的編碼器 802 來選擇子集；第二組具有 $k-k_1$ 位，其利用星座映射器 804 在每個子集內選擇星座點。下面是對將容量從 2 位元/單元示例性地增大到 2.5 位元/單元的描述。假設存在 8 個電壓級別，並且每兩個相鄰的單元被組合來形成 64QAM 星座。64 QAM 被劃分成 4 個陪集 (coset)。每個陪集中任意兩點之間的距離是 $8 \times d_0$ 。假設 3/4 碼率卷積碼被用來選

擇陪集，並且兩個未編碼位元被用來選擇任何給定陪集中的點。整個碼率將從而變成 $5/6$ ，導致 2.5 位元/單元。整體編碼增益為 0.43dB 。因此，這種 TCM 編碼系統在將儲存容量增大了 25% 的同時，與未編碼 4 級系統相比具有更好的性能。

基於隨機構造的一些代碼，可以通過疊代檢測方法被有效地解碼。這些代碼包括 Turbo 碼（即，串聯卷積碼）或者並聯卷積碼、低密度奇偶校驗（LDPC）碼、Turbo 乘積碼，以及它們的變體。

TCM 的編碼增益來自兩個區域——群集分割、卷積碼，亦即群集分割用於增大了每個子集中的星座點之間的距離，而卷積碼則是用於實現不同子集之間的高歐幾裏得距離。這其中，後者也可以在其他高增益碼替換卷積碼的情況下實現。將群集分割與疊代碼組合的示例如圖 9 所示。假設 16-PAM 系統被劃分成 4 個子集。然後每個子集中的點之間的最小距離是 $4d_0$ ，從而與未編碼系統相比提供了 12dB 增益。但是，在不同子集之間，最小距離仍維持為 d_0 。由於子集的選擇依賴於由 LDPC 編碼器 902 提供的 LDPC 編碼位元，因此如果使用了具有 12dB 增益的 LDPC 碼，則整個系統具有約 12dB 的增益。一般而言，整個系統增益是群集分割增益和疊代編碼增益中的最小者。圖 9 中示出的 LDPC 編碼器 902 被要求對由疊代碼塊大小限定的整個碼字操作。除了疊代碼之外，包括 RS 碼和 BCH 碼在內的其他高增益碼也可以被用來對部分輸入進行編碼以用於子集選擇。

根據一些實施例，爲了進一步提高編碼增益，可以使用多級編碼。圖 10A 中示出了包括內編碼器和外編碼器的二級編碼 1000。在一個示例性實施例中，外碼編碼器 1002 可以是 RS 編碼器，並且內碼編碼器 1004 可以是 TCM 編碼器。由 TCM 的內碼解碼器 1006 導致的突發錯誤由 RS 的外碼解碼器 1008 糾正。

在另一個示例性實施例中，內碼編碼器 1004 適於執行疊代碼（例如，LDPC 碼或 Turbo 碼），並且外編碼器 1002 適於執行 RS 碼。疊代碼可以是二進位碼或基於符號的碼。每個符號可以包含多個位。疊代碼可以利用軟輸入軟輸出（SISO）解碼器而被解碼，而

RS 碼可以利用 SISO 或者硬判決解碼器而被解碼。RS 的外碼解碼器 1008 可以與內碼解碼器 1006 疊代來交換軟資訊。這種疊代將提高軟資訊的質量，並且從而減少在每次疊代後位元錯誤的數目。

這裏提供的對各種實施例的描述僅是示例，而不是要限制本發明的範圍。各種其他編碼技術、交織技術、調製技術、解調制技術、解碼技術、映射技術等等都包括在本發明的範圍內。

圖 10B 是根據本發明另一個實施例的二級編碼 1020 的簡化框圖。外編碼器 1022 是具有糾錯功率 t 的 Reed-Solomon 編碼器。內編碼器 1030 包括具有 $3/4$ 碼率的 TCM 1024 和在任意兩個點之間間隔為 $2/15$ 的 16-PAM 星座映射器 1026。對於針對圖 10B 中所示編碼通道執行的計算，利用了具有階數 3、4 和 5 的多項式的卷積編碼器。應當理解，儘管圖 10B 中示出的示例性實施例包括 Reed-Solomon 的外編碼器 1022、TCM 1024 和 16-PAM 星座映射器 1026，但是本發明的其他實施例可以包括其他編碼器、調製器和映射器。此外，對於在附圖中示出的和這裏所述的所有示例性實施例，可以使用包括多維調製器、多級編碼、它們的任意組合等在內的調製器，所述多維調製器例如是由 Wei 在“Trellis-Coded Modulation with Multidimensional Constellations”, IEEE Transactions on Information Theory, Volume IT-33, No.4 (1987 年 7 月) 第 283-501 頁中提議的那些；所述多級編碼例如是由 Imai 和 Hirakawa 在“A New Multilevel Coding Method Using Error-Correcting Codes”, IEEE Transactions on Information Theory, Volume IT-23, No. 3 (1977 年 5 月) 第 371-377 頁中提議的那些。

參考圖 10B，約 $2k$ 位 (2048 位) 由 228 個 9 位元符號表示。僅作為示例，這些 9 位元符號是通過將三個相鄰的 8 級單元組合在一起而形成的。228 個 9 位元符號由 Reed-Solomon 的外編碼器 1022 利用 $2t$ 符號進行補充，來提供輸入到內編碼器 1030 的 230 個符號。在示例性實施例中，由 228 個 9 位元符號表示的用戶資料被寫入到記憶體陣列的與三十個 3 位元單元相等的寬度表徵的部分中。在用戶資料被以串列方式寫入到記憶體陣列中後，三個相鄰的 3 位元單元被組合來形成 9 位元符號。十列這種 9 位元符

號然後被附加以例如由 RS 的外編碼器 1022 提供的列奇偶值。所附加的奇偶值的數目部分取決於為 RS 的外編碼器 1022 選出的糾錯功率。對每個 3 位元單元執行 TCM 編碼來提供經編碼的 4 位元符號，經編碼的 4 位元符號隨後被提供給 16-PAM 星座映射器 1026，然後被寫入到固態非揮發性記憶體。應當意識到，也可以通過例如提供並行工作的多個 TCM 1024 來並行執行編碼，從而增加處理速度。對用戶資料進行解碼是通過反向執行結合圖 10B 討論的操作執行的。

取決於所選編碼技術，可以使用多個發生器多項式之一。僅作為示例，對於一些應用，表 3 中所示的發生器多項式被與具有 1/2 碼率的系統編碼器一起使用。每個狀態的分支數等於 2。

表 3

發生器多項式	
階數	多項式
2	$[1 \quad D/D^2+1]$
3	$[1 \quad D^2/D^3+D+1]$
4	$[1 \quad D^2/D^4+D+1]$
5	$[1 \quad D^2/D^5+D^2+1]$

對於級別 1 的集合劃分為：

Q(0)– { -15,-11,-7,-3,+1,+5,+9,+13 }

Q(1)– { -13,-9,-5,-1,+3,+7,+11,+15 }

對於級別 2 集合劃分為：

Q(00)– { -15,-7,+1,+9 }

Q(10)– { -11,-3,+5,+13 }

Q(01)– { -13,-5,+3,+11 }

Q(11)– { -9,-1,+7,+15 }

如圖 10B 所示，本發明的一些實施例利用 RS 編碼器作為外編碼器 1022。RS 編碼器提供非常適於其中出現了錯誤突發的應用的功能。對於固態非揮發性記憶體應用，錯誤可能由於若干原因而突發發生。首先，部分記憶體陣列中的缺陷可能影響由這些部分中設置的單元導致的錯誤。另外，錯誤突發可能由於內編碼器

1024 的操作所致。卷積解碼器可以產生錯誤突發，因為在任意給定時刻的輸出部分取決於先前的輸出。因此，本發明的一些實施例利用了適於處理錯誤突發的 RS 編碼器和解碼器。

從圖 1 可知，被程式化單元的 PDF 根據該單元的閾值電壓而不同。如果四個級別具有相等間隔，則，與具有由在 2 伏到 4 伏之間變動的閾值電壓限定的 PDF 的單元相對應的級別由於其較寬的分佈而比其他級別更可能出錯。因此，在一些實施例中，受約束的編碼被用來抑制某些模式或者減少它們的頻率。例如，降低與具有由在 2 伏到 4 伏之間變動的閾值電壓限定的 PDF 的單元相對應的資料的頻率也降低了總體錯誤概率。

在一些實施例中，碼字大小被與磁區大小對準。例如，如果磁區大小例如是 256k 位，則內碼和外碼可以被配置為使得一個外碼字為 256k 位。也可以使用比磁區大小更小或更大的碼字大小。在圖 11A 中，磁區大小被示作與碼字大小相等。在較小碼字大小的情形中，每個磁區包括若干個碼字，如圖 11B 所示。在較大碼字大小的情形中，每個碼字包括若干個磁區，如圖 11C 所示。一般而言，碼字大小越大，編碼增益就越大，解碼延遲就越長，並且解碼器複雜度就越高。

碼字在被儲存之前可以被交織。圖 12 示出了示例性的 3 路交織單元，其中多個單元 1202 形成碼字 1、多個單元 1204 形成碼字 2，並且多個單元 1206 形成碼字 3。如果缺陷跨度不超過三個單元，則其僅導致每個碼字中的一個符號錯誤，這比三個符號錯誤的突發更易於糾正。

根據本發明的其他示例性實施例，上述的資料編碼可以在多個固態非揮發性半導體記憶體之間被應用，在一些實施例中這多個半導體記憶體以一個在另一個上的方式被堆疊。例如，如果 8 個這樣的固態非揮發性半導體記憶體被堆疊在一起，則基於 GF (2^8) 的 RS 碼被應用到這些記憶體，其中 RS 碼符號的每一位來自這些記憶體之一。在這些記憶體之間應用的編碼在這些記憶體之一具有較多缺陷時提高了錯誤恢復能力。

圖 13A 是根據本發明的示例性實施例提供的交織技術的簡化

的示意圖。如圖 13A 所示，內編碼器（例如 TCM 編碼器）被用在資料行上，並且外編碼器（例如 RS 編碼器）被用在資料塊列上。這種示例性實施例可以被用在例如固態非揮發性記憶體中，其中資料以矩形（即，塊）格式被寫入到記憶體單元中。在其中相當長的多位元錯誤出現在內 TCM 碼中的情形中，本發明的實施例提供了多個獨立的外 RS 碼來處理由於多位元錯誤而變壞的資料。因此，影響獨立 RS 碼的錯誤的數目是有限的。參考圖 13A，在一種特定實現方式中列的數目部分由最大錯誤突發長度確定。行的數目部分由每個塊碼字中的磁區數目確定。

根據本發明的一些實施例，取決於特定的應用，列的數目是預定的。例如，如果列的數目（與交織深度有關）大於最大錯誤突發長度，則對列操作的外編碼器與由特定符號誤碼率表徵的無記憶體通道類似。因此，所發生的錯誤突發影響不同的外編碼器碼。符號誤碼率一般通過使用 TCM 獨立地仿真來確定，並且通過獨立建模可以估計錯誤概率。諸如 RS 編碼器之類的外編碼器的開銷的百分比可以通過增加塊碼字的行維度而被減小。或者，可以增加 RS 碼的行維度同時保持開銷百分比恒定，從而允許對於每列更高的糾錯功率。

圖 13B 是針對如圖 13A 所示的交織系統的作為 SNR 的函數的 SER 的曲線圖。為了計算圖 13B 所代表的資料，每個塊碼字的 10 列和 10 個磁區被利用。其他實施例根據特定應用將利用每個塊碼字的不同數目的列和磁區。未編碼的 2 位元/單元 4-PAM 系統的 SER 被示出用於比較。圖 13B 示出了其中外編碼器（在本示例中是 RS 編碼器）的長度隨糾錯功率的範圍而變的實現方式的 SER 值（ t_{RS} 分別等於 12、14 和 16）。隨著糾錯功率或者外編碼的強度增大，已編碼系統下降到與未編碼系統相等的級別時的 SNR 也降低了。參考圖 13B，對於 $t_{RS}=12$ 、14 和 16，該交叉點分別為在約 22.4dB、22.2dB 和 22.0dB。

在特定示例性實施例中，多級固態非揮發性記憶體包括例如 2.5 位元/單元。在這種實施例中，兩個相鄰的 8 級單元（3 位元/單元）形成 64-QAM 調製符號。64-QAM 調製符號中的六個位中

的五個位被用於資料，一個位被用於編碼。因此，在這種示例性實施例中，碼率是 $5/6$ ，並且每個狀態的分支數目等於四。這種系統提供了 2.5 位元/單元，因為 5 個資料位元被儲存在兩個相鄰單元之間。在這種示例性實施例中，對於 16 個狀態，與未編碼 4-PAM 系統相比編碼增益可以是例如 0.423dB。應當注意，計算結果將被修改，因為重數 (multiplicity) 被包括在這種計算中。例如，通過使重數加倍，則期望損失約 0.2dB。本領域技術人員將認識到許多變體、修改和替換。

在本發明的另一個特定示例性實施例中，提供了具有例如 3.5 位元/單元的多級固態非揮發性記憶體系統。在這種實施例中，兩個相鄰的 16 級單元 (4 位元/單元) 形成 256-QAM 調製符號。256-QAM 調製符號的八個位中的七個位被用於資料，一個位被用於編碼。因此，在這種示例性實施例中，碼率是 $7/8$ ，並且每個狀態的分支數目等於四。這種系統提供了 3.5 位元/單元，因為 7 個資料位元被儲存在兩個相鄰單元之間。與未編碼 8-PAM 系統相比，編碼增益對於 8 個狀態可以是 0.527dB、對於 16 個狀態可以是例如 1.317dB。應當注意，計算結果將被修改，因為重數被包括在這種計算中。例如，通過使重數加倍，則期望損失約 0.2dB。本領域技術人員將認識到許多變體、修改和替換。

現在參考圖 14A-14G，這些圖中示出了本發明的各種示例性實現方式。參考圖 14A，本發明可以被實現在硬碟裝置(HDD)1400 中。本發明可以實現信號處理和/或控制電路之一或者二者，它們在圖 14A 中被總地標作 1402。在某些實現方式中，HDD 1400 中的信號處理和/或控制電路 1402 以及/或者其他電路 (未示出) 可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算，並且/或者對向磁儲存媒體 1406 輸出的資料和/或從磁儲存媒體 1406 接收的資料進行格式化。

HDD 1400 可以已由一個或多個有線或無線通信鏈路 1408 與以下設備通信：主機設備 (未示出)，例如電腦；移動計算設備，例如個人數位助理、行動電話、媒體播放機或 MP3 播放器等；以及/或者其他設備。HDD 1400 可以被連接到記憶體 1409，例如，

隨機存取記憶體 (RAM)、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體、唯讀記憶體 (ROM) 和/或其他合適的電子資料儲存裝置。

現在參考圖 14B，本發明可以被實現在 DVD 光碟裝置 1410 中。本發明可以實現 DVD 光碟裝置 1410 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14B 中被總地標作 1412），以及/或者大容量資料儲存裝置 1418。DVD 光碟裝置 1410 中的信號處理和/或控制電路 1412 以及/或者其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算，並且/或者對讀自光儲存媒體 1416 的資料和/或寫給光儲存媒體 1416 的資料進行格式化。在一些實現方式中，DVD 光碟裝置 1410 中的信號處理和/或控制電路 1412 以及/或者其他電路（未示出）也可以執行其他功能，例如，與 DVD 光碟裝置相關聯的編碼和/或解碼，以及/或者任何其他信號處理功能。

DVD 光碟裝置 1410 可以已由一個或多個有線或無線通信鏈路 1417 與輸出裝置（未示出）通信，所述輸出裝置例如是電腦、電視和其他設備。DVD 光碟裝置 1410 可以與以非揮發性方式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1418 通信。大容量資料儲存裝置 1418 可以包括硬碟裝置 (HDD)，例如在圖 14A 中示出的。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。DVD 光碟裝置 1410 可以連接到記憶體 1419，例如，RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或其他合適的電子資料儲存裝置。

現在參考圖 14C，本發明可以被實現在高清晰度電視 (HDTV) 1420 中。本發明可以實現 HDTV 1420 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14C 中被總地標作 1422），WLAN 介面和/或大容量資料儲存裝置。HDTV 1420 接收有線或無線形式的 HDTV 輸入信號，並且產生用於顯示器 1426 的 HDTV 輸出信號。在一些實現方式中，HDTV 1420 的信號處理和/或控制電路 1422 和/或其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算、格式化資料和/或執行可能需要的任何其他類型的 HDTV

處理。

HDTV 1420 可以與以非揮發性形式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1427 通信，例如光和/或磁儲存裝置。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。HDTV 1420 可以連接到記憶體 1428，例如 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的電子資料記憶體。HDTV 1420 還可支援已由 WLAN 網路介面 1429 與 WLAN 的连接。

現在參考圖 14D，本發明可以實現交通工具 1430 的控制系統、WLAN 介面和/或大容量資料儲存裝置中。在一些實現方式中，本發明實現動力系統控制系統 1432，該動力系統控制系統接收來自一個或多個感測器的輸入並且/或者產生一個或多個輸出控制信號，所述感測器例如是溫度感測器、壓力感測器、轉動感測器、氣流感測器和/或任何其他合適的感測器，所述輸出控制信號例如是引擎工作參數、傳輸工作參數和/或其他控制信號。

本發明也可以被實現在交通工具 1430 的其他控制系統 1440 中。控制系統 1440 可以類似地接收來自輸入感測器 1442 的信號，並且/或者輸出控制信號到一個或多個輸出裝置 1444。在一些實現方式中，控制系統 1440 可以是防鎖死剎車系統（ABS）、導航系統、遠端資訊處理系統、交通工具遠端資訊處理系統、路線偏離系統、自適應巡航控制系統、交通工具娛樂系統（例如，身歷聲音響、DVD、CD 等）的一部分。還可以設想其他實現方式。

動力系統控制系統 1432 可以與以非揮發性形式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1446 通信。大容量資料儲存裝置 1446 可以包括光和/或磁儲存裝置，例如，硬碟裝置(HDD)和/或 DVD 光碟裝置。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 光碟裝置可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。動力系統控制系統 1432 可以連接到記憶體 1447，例如 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的

電子資料儲存裝置。動力系統控制系統 1432 還可支援已由 WLAN 網路介面 1448 與 WLAN 的連接。控制系統 1440 也可以包括大容量資料儲存裝置、記憶體和/或 WLAN 介面（都未示出）。

現在參考圖 14E，本發明可以被實現在包括行動天線 1451 的行動電話 1450 中。本發明可以實現行動電話 1450 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14E 中被總地標作 1452），以及 WLAN 介面和/或大容量資料儲存裝置。在一些實現方式中，行動電話 1450 包括麥克風 1456、音頻輸出裝置 1458（例如，揚聲器和/或音頻輸出插孔）、顯示器 1460 和/或輸入裝置 1462（例如，小鍵盤、指取設備、語音執行和/或其他輸入裝置）。行動電話 1450 中的信號處理電路和/或控制電路 1452 和/或其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算、格式化資料和/或執行其他行動電話功能。

行動電話 1450 可以與以非揮發性形式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1464 通信，例如光和/或磁儲存裝置（例如，硬碟裝置 HDD 和/或 DVD）。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。行動電話 1450 可以連接到記憶體 1466，例如 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的電子資料儲存裝置。行動電話 1450 還可支援已由 WLAN 網路介面 1468 與 WLAN 的連接。

現在參考圖 14F，本發明可被實現在機上盒 1480 中。本發明可以實現機上盒 1480 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14F 中被總地標作 1484），以及 WLAN 介面和/或大容量資料儲存裝置。機上盒 1480 接收來自例如寬帶源這樣的源的信號，並輸出適合於諸如電視和/或監視器這樣的顯示器 1488 和/或其他視頻和/或音頻輸出裝置的標準和/或高清晰度音頻/視頻信號。機上盒 1480 的信號處理和/或控制電路 1484 和/或其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算、格式化資料和/或執行任何其他機上盒功能。

機上盒 1480 可以與以非揮發性方式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1490 通信。大容量資料儲存裝置 1490 可包括光和/或磁儲存裝置，例如硬碟裝置 HDD 和/或 DVD。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。機上盒 1480 可以連接到記憶體 1494，例如 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的電子資料儲存裝置。機上盒 1480 還可支援已由 WLAN 網路介面 1496 與 WLAN 的連接。

現在參考圖 14G，本發明可以被實現在媒體播放器 1472 中。本發明可以實現媒體播放器 1472 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14G 中被總地標作 1471），以及 WLAN 介面和/或大容量資料儲存裝置。在一些實現方式中，媒體播放器 1472 包括顯示器 1476 和/或用戶輸入裝置 1477，例如小鍵盤、觸摸板等。在一些實現方式中，媒體播放器 1472 可以採用圖形用戶介面（GUI），圖形用戶介面一般採用利用顯示器 1476 和/或用戶輸入裝置 1477 的功能表、下拉功能表、圖示和/或指點介面。媒體播放器 1472 還包括音頻輸出裝置 1475，例如，揚聲器和/或音頻輸出插孔。媒體播放器 1472 的信號處理和/或控制電路 1471 和/或其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算、格式化資料和/或執行任何其他媒體播放器功能。

媒體播放器 1472 可以與以非揮發性方式儲存例如已壓縮的音頻和/或視頻內容之類的資料的大容量資料儲存裝置 1470 通信。在一些實現方式中，已壓縮的音頻文件包括依照 MP3 格式或其他合適的壓縮音頻和/或視頻格式的文件。大容量資料儲存裝置可包括光和/或磁儲存裝置，例如硬碟裝置 HDD 和/或 DVD。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。媒體播放器 1472 可以連接到記憶體 1473，例如 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的電子資料儲存裝置。媒體播

放器 1472 還可支援已由 WLAN 網路介面 1474 與 WLAN 的連接。

現在參考圖 14H，本發明可以被實現在可以包括天線 1439 的語音 IP (VoIP) 電話 1483 中。本發明可以實現 VoIP 電話 1483 的信號處理和/或控制電路之一或者二者（它們在圖 14H 中被總地標作 1482），以及無線介面和/或大容量資料儲存裝置。在一些實現方式中，VoIP 電話 1483 部分包括麥克風 1487、音頻輸出裝置 1489（例如，揚聲器和/或音頻輸出插孔）、顯示器 1491、輸入裝置 1492（例如，小鍵盤、指取裝置、語音執行和/或其他輸入裝置）、以及 Wi-Fi 通信模組 1486。VoIP 電話 1483 中的信號處理和/或控制電路 1482 和/或其他電路（未示出）可以處理資料、執行編碼和/或加密、執行計算、格式化資料和/或執行其他 VoIP 電話功能。

VoIP 電話 1483 可以與以非揮發性形式儲存資料的大容量資料儲存裝置 1481 通信，例如光和/或磁儲存裝置（例如，硬碟裝置 HDD 和/或 DVD）。至少一個 HDD 可具有圖 14A 所示的配置，並且/或者至少一個 DVD 可具有圖 14B 所示的配置。HDD 可以是包括一個或多個直徑小於大約 1.8”的碟片的迷你 HDD。VoIP 電話 1483 可以連接到記憶體 1485，記憶體 1485 可以是 RAM、ROM、諸如快閃記憶體之類的低等待時間的非揮發性記憶體，以及/或者其他合適的電子資料儲存裝置。VoIP 電話 1483 配置為已由 Wi-Fi 通信模組 1486 建立與 VoIP 網路（未示出）的通信鏈路。除了上述那些實現方式以外，還希望包括其他實現方式。

本發明的上述描述是說明性的而非限制性的。各種替換和等同物都是可能的。本發明不受所使用的比較器、計數器、脈寬調製器、裝置或濾波器的類型限制。本發明不受用於確立參考充電和放電電流的放大器的類型限制。本發明不受振盪器限制。本發明不受本公開可以被佈置在其中的積體電路的類型限制。本發明也不限於可以用來製造本公開的任何具體的工藝技術類型，例如，CMOS、雙極、或者 BICMOS。考慮本公開，其他添加、替換或修改都是顯而易見的，並且都要落入所附之專利申請的範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 是具有 4 級量化的固態非揮發性記憶體單元的作為電壓的函數的簡化概率分佈函數；

圖 2A 是未已編碼的一位元 PAM 方案的星座圖；

圖 2B 是利用平均功率為 $1/2$ 的 PAM 方案調製的兩位元資料的星座圖；

圖 2C 是在固態非揮發性記憶體單元中使用的利用峰值限度為 $\pm 1/2$ 的 PAM 方案調製的兩位元資料的星座圖；

圖 3A 是根據本發明一個實施例的具有改錯碼的示例性非揮發性記憶體單位的簡化框圖；

圖 3B 是根據本發明一個實施例的並入了類比/數位轉換器的固態非揮發性記憶體的簡化框圖；

圖 4 是根據本發明另一個實施例的具有糾錯的固態非揮發性記憶體單位的簡化框圖；

圖 5 示出了與傳統的未編碼系統相比根據本發明一個示例性實施例的記憶體單位的字元錯誤率 (WER)；

圖 6 示出了根據本發明一個實施例的示例性 $1/2$ 碼率卷積編碼器的各個塊；

圖 7 示出了根據本發明實施例的 2-D 群集分割的示例；

圖 8 是傳統 TCM 編碼器的簡化框圖；

圖 9 示出了根據本發明實施例的組合群集分割與疊代碼的示例；

圖 10A 是根據本發明實施例的包括內碼和外碼的二級系統的簡化圖示；

圖 10B 是根據本發明另一個示例性實施例的二級編碼通道的簡化框圖；

圖 11A-11C 示出了根據本發明的多個示例性磁區和碼字 (codeword) 大小；

圖 12 示出了根據本發明實施例的示例性 3 路交織單元；

圖 13A 是根據本發明示例性實施例提供的交織技術的簡化示

意圖；

圖 13B 是如圖 13A 所示的交織系統的作為 SNR 的函數的 SER 的曲線圖；以及

圖 14A-14H 示出了可以在其中實現本發明的各種設備。

【主要元件符號說明】

- 300 非揮發性記憶體單元
- 310 編碼器
- 312 調製器
- 314 多級固態非揮發性記憶體
- 316 解調器
- 318 解碼器
- 350 非揮發性記憶體單元
- 360 編碼器
- 362 調製器
- 364 多級固態非揮發性記憶體
- 366 類比/數位轉換器
- 368 解調器
- 400 固態非揮發性記憶體
- 410 外編碼器
- 412 內編碼器
- 414 調製器
- 416 多級固態非揮發性記憶體
- 418 解調器
- 420 內編碼器
- 422 外編碼器
- 600 卷積編碼器
- 602、604、606 移位寄存器
- 610 模態 2 加法器

800 網格編碼調製(TCM)
 802 編碼器
 804 星座映射器
 902 LDPC 編碼器
 1000 二級編碼
 1002 外碼編碼器
 1004 內碼編碼器
 1006 內碼解碼器
 1008 外碼解碼器
 1020 二級編碼
 1022 外編碼器
 1024 網格編碼調製(TCM)
 1026 星座映射器
 1030 內編碼器
 1202、1204、1206 單元
 1400 硬碟裝置
 1402 信號處理和/或控制電路
 1406 磁儲存媒體
 1408、1417 通信鏈路
 1409、1419、1428、1447、1466、1494、1473、1485 記憶體
 1410 DVD 光碟裝置
 1412 信號處理和/或控制電路
 1416 光儲存媒體
 1418、1427、1446、1464、1490、1470、1481 大容量資料儲存裝置
 1420 高清晰度電視
 1422 信號處理和/或控制電路
 1426、1488 顯示器
 1429、1448、1468、1496、1474 WLAN 網路介面

1430 交通工具
 1432 動力控制系統
 1440 其他控制系統
 1442 感測器
 1444 輸出
 1450 行動電話
 1451 行動天線
 1452 信號處理和/或控制電路
 1456、1480 麥克風
 1458、1475、1489 音頻輸出裝置
 1460、1476、1491 顯示器
 1462、1477、1492 輸入裝置
 1480 機上盒
 1484 信號處理和/或控制電路
 1472 媒體播放器
 1471 信號處理和/或控制電路
 1483 VoIP 電話
 1482 信號處理和/或控制電路
 1486 Wi-Fi 通信模組
 1439 天線

五、中文發明摘要：

本發明提供了一種固態非揮發性記憶體單元，該記憶體單元包括編碼器、適於儲存由該編碼器編碼的資料的多級固態非揮發性記憶體陣列、以及適於對從記憶體陣列獲得的資料進行解碼的解碼器。記憶體陣列可以是快閃記憶體 EEPROM 陣列。該記憶體單元可選地包括調製器和解調器。經調製器調製後的資料被儲存到記憶體陣列中。解調器對從該記憶體陣列獲得的經調製資料進行解調。

六、英文發明摘要：

A solid state non-volatile memory unit includes, in part, an encoder, a multi-level solid state non-volatile memory array adapted to store data encoded by the encoder, and a decoder adapted to decode the data retrieved from the memory array. The memory array may be a flash EEPROM array. The memory unit optionally includes a modulator and a demodulator. The data modulated by the modulator is stored in the memory array. The demodulator demodulates the modulated data retrieved from the memory array.

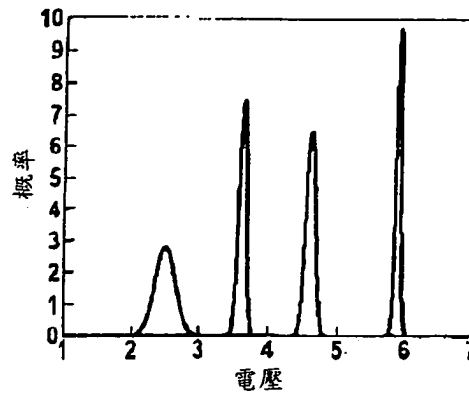


圖 1

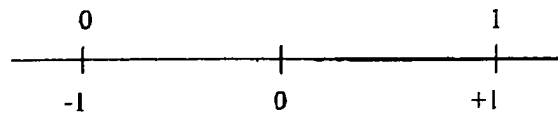


圖 2A

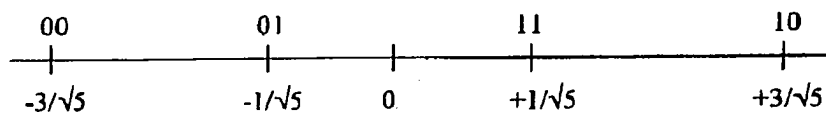


圖 2B

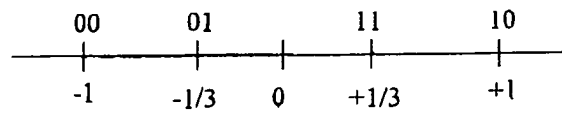


圖 2C

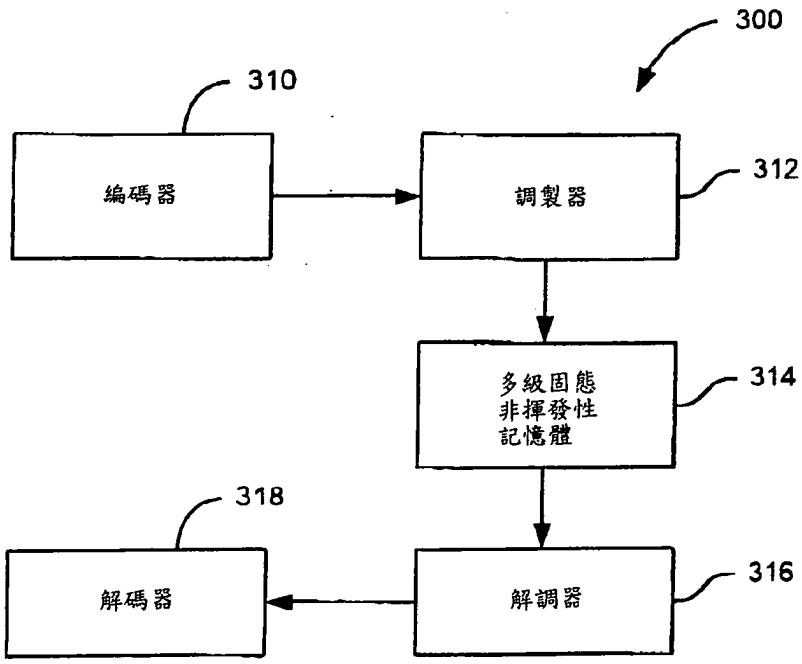


圖 3A

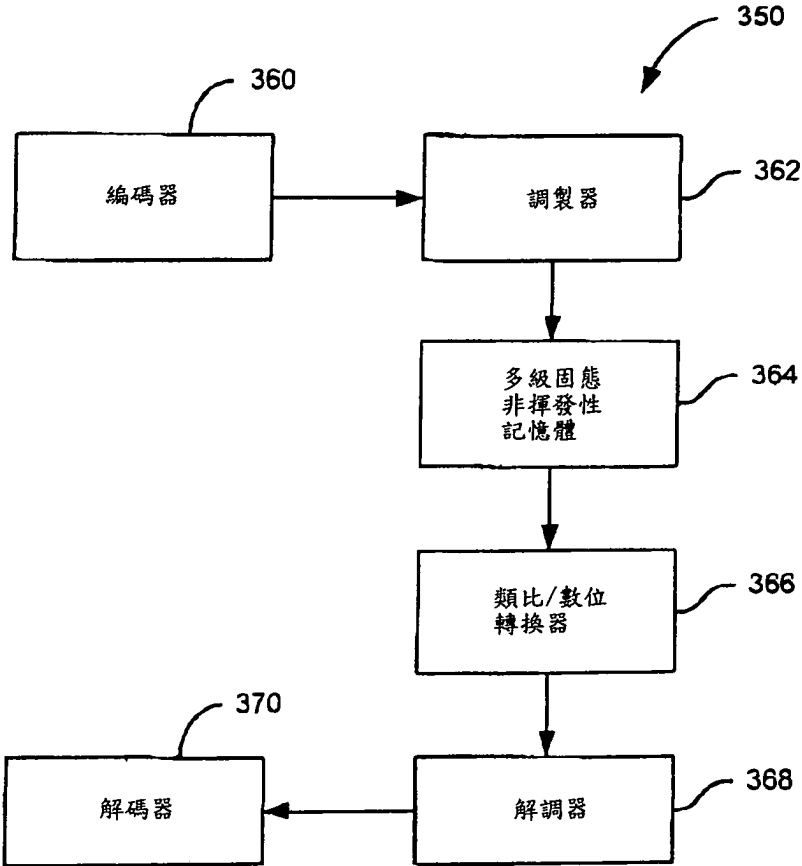


圖 3B

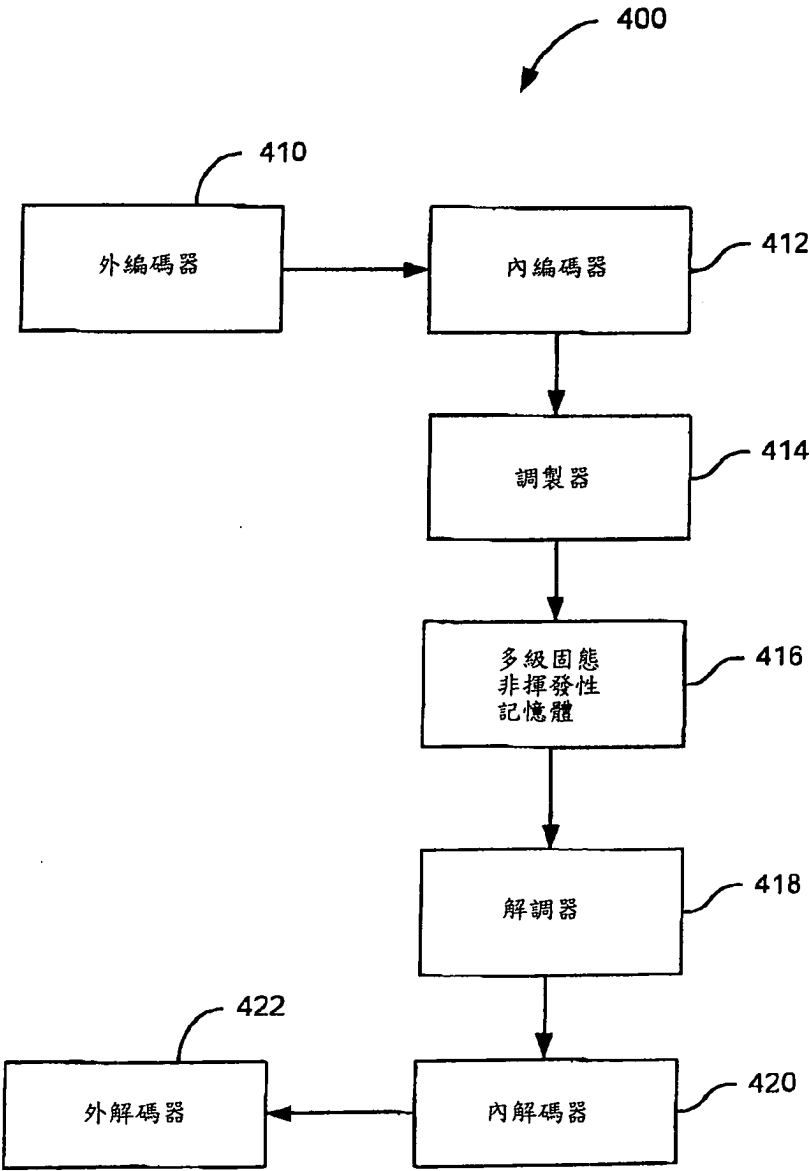


圖 4

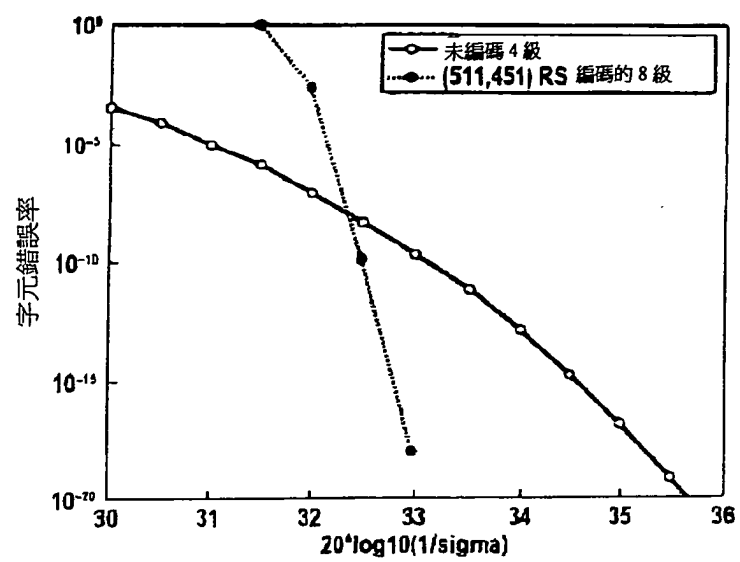


圖 5

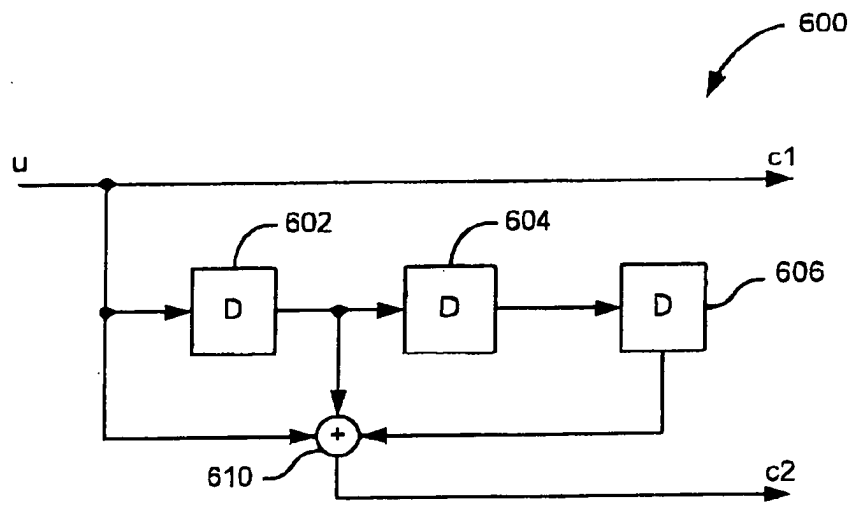


圖 6

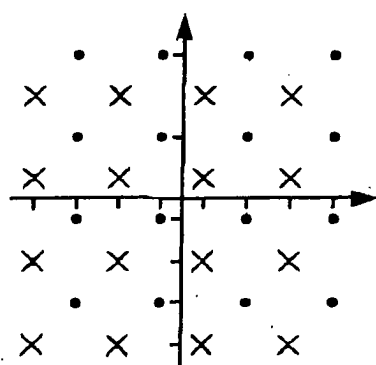


圖 7

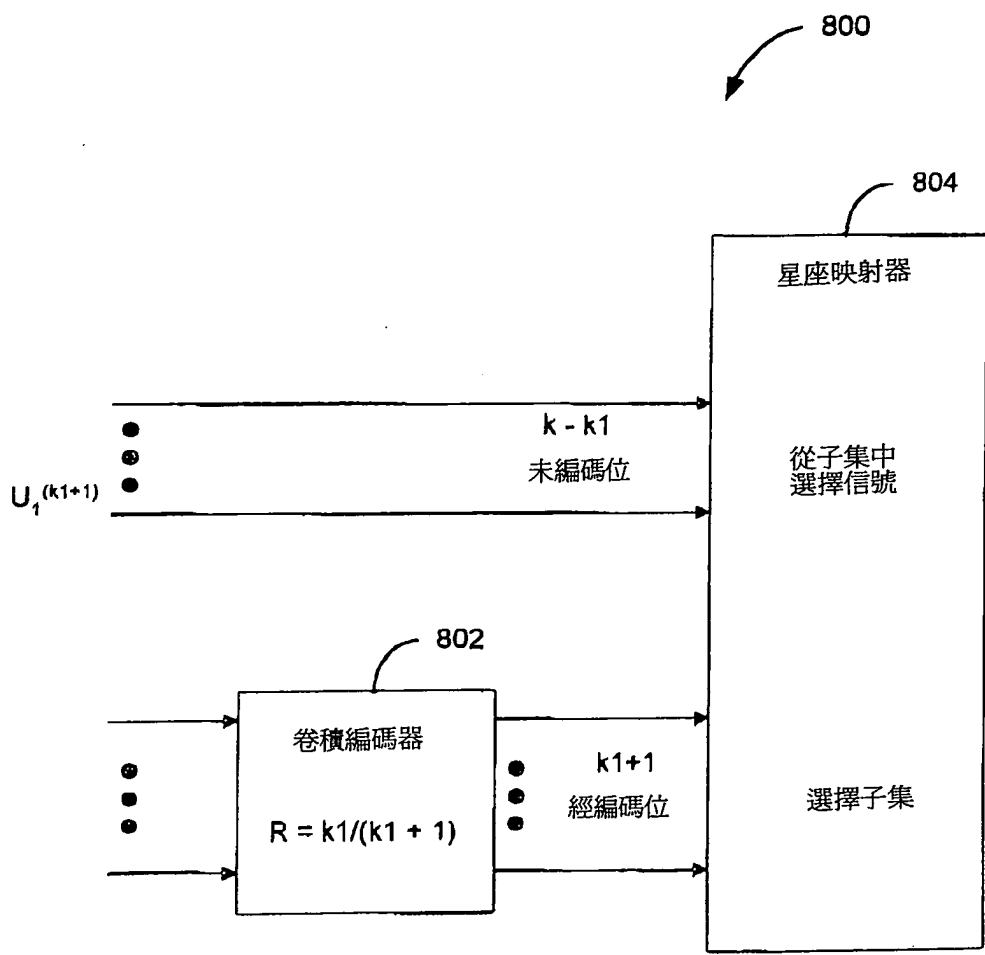


圖 8

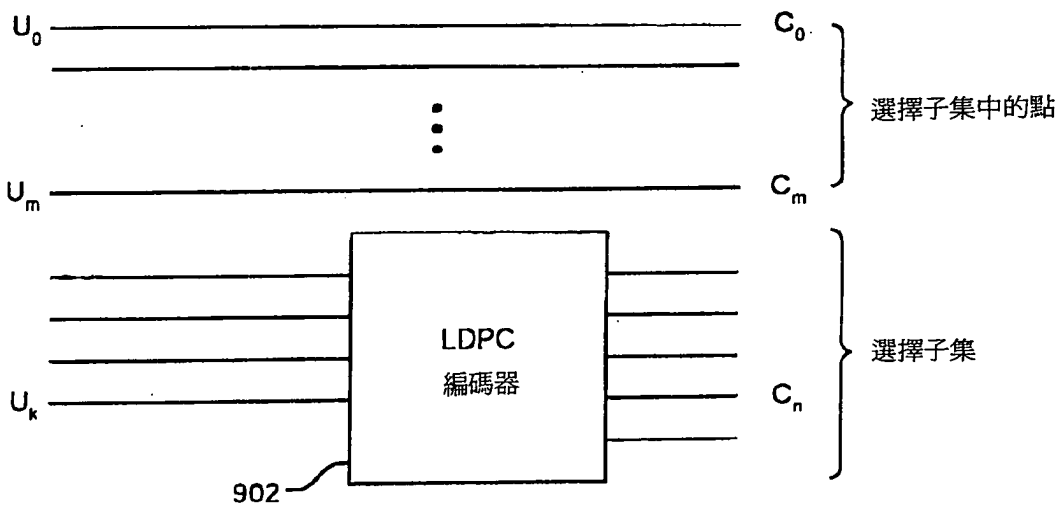


圖 9

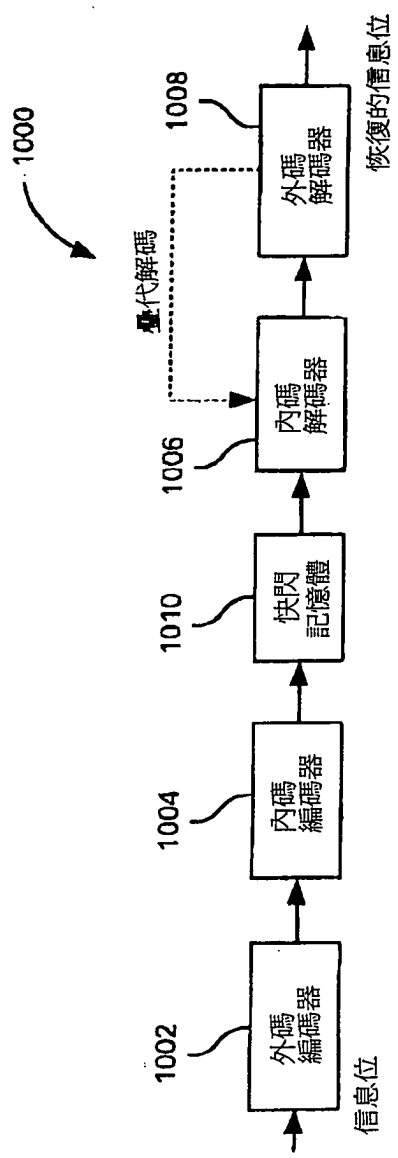


圖 10A

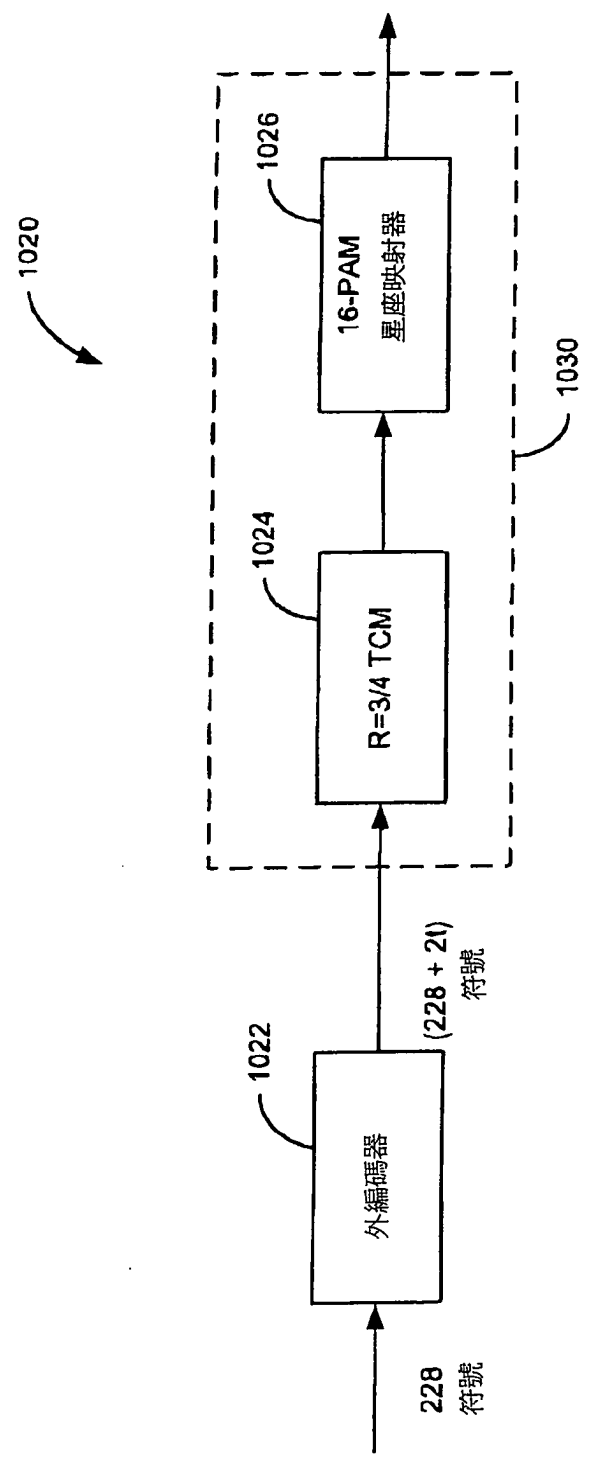


圖 10B



圖 11A

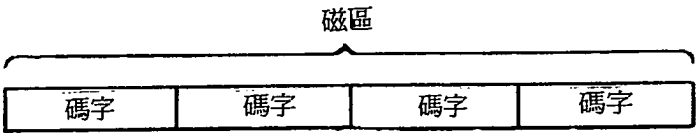


圖 11B

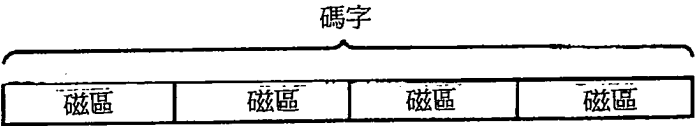


圖 11C

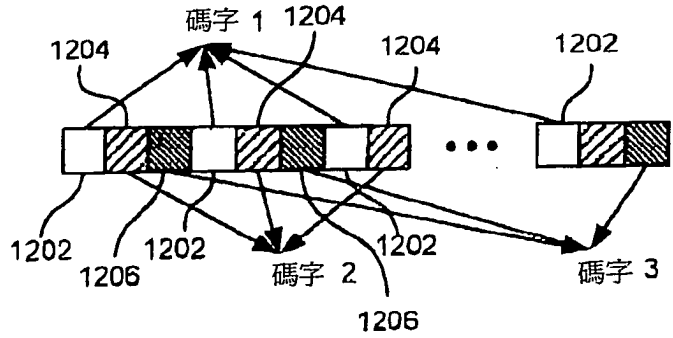


圖 12

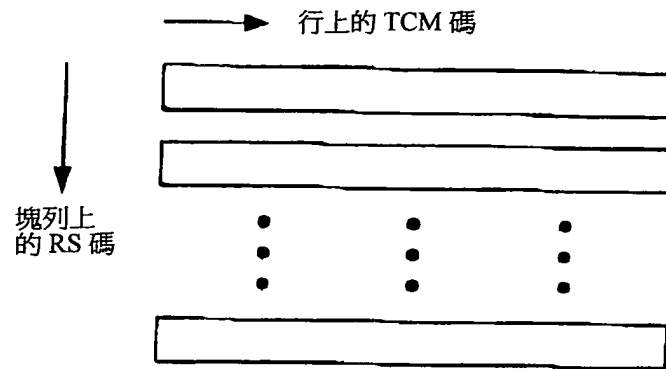


圖 13A

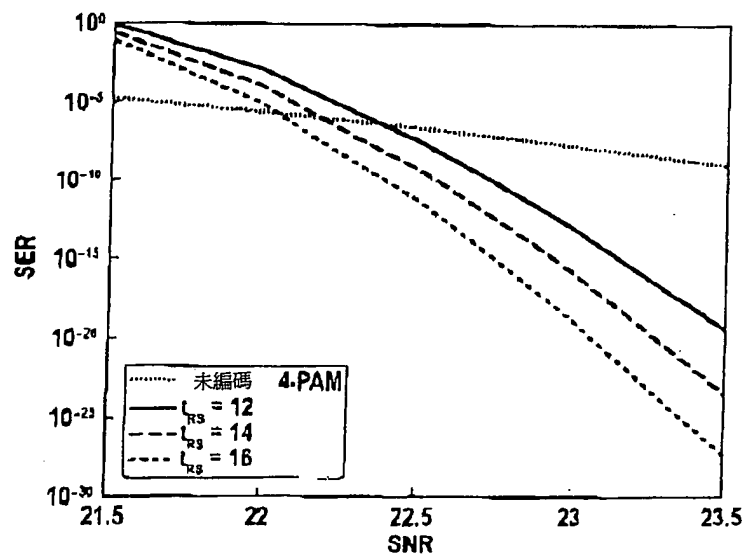


圖 13B

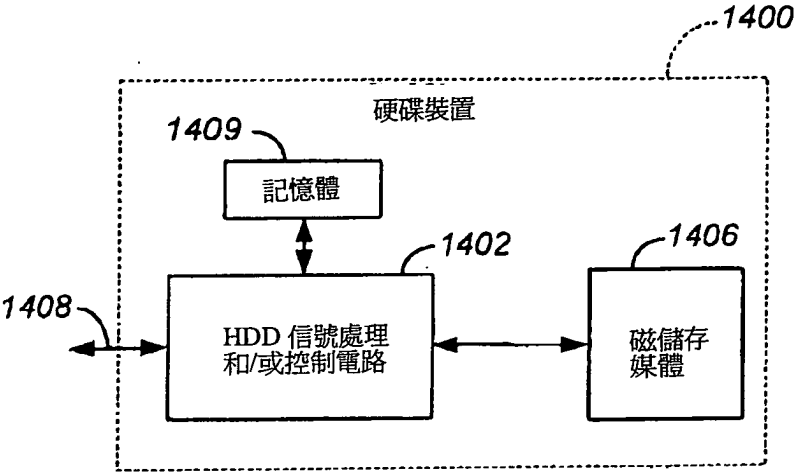


圖 14A

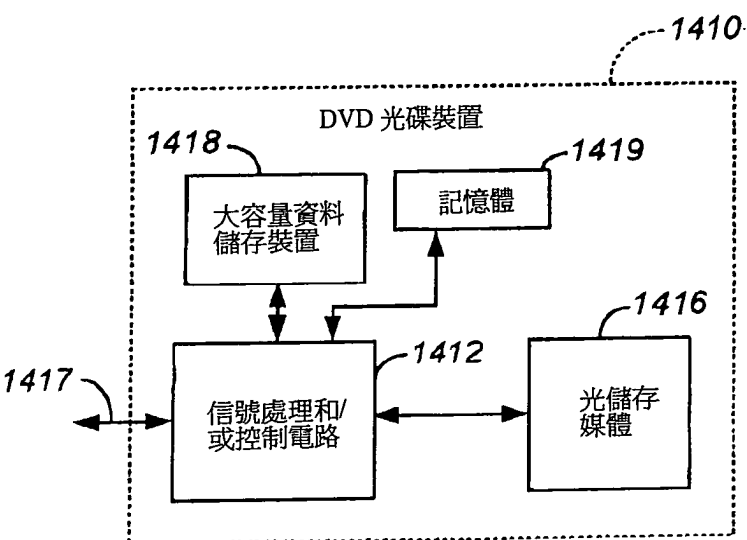


圖 14B

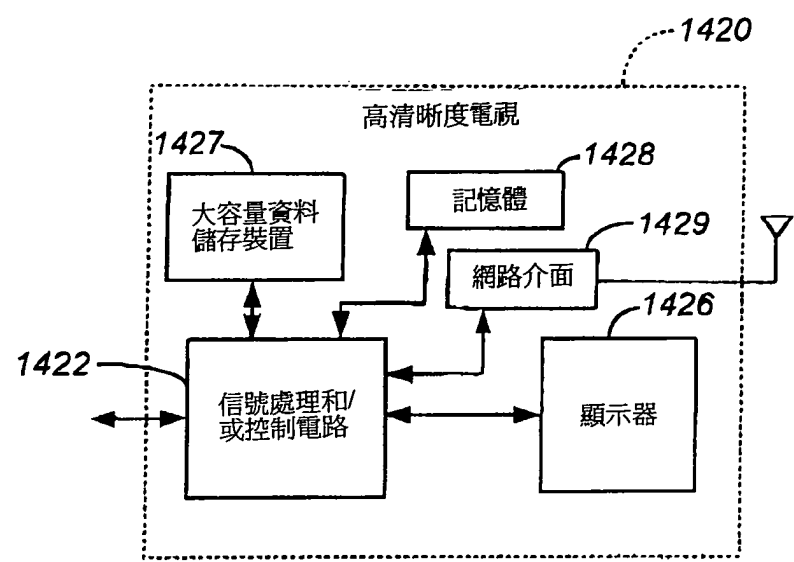


圖 14C

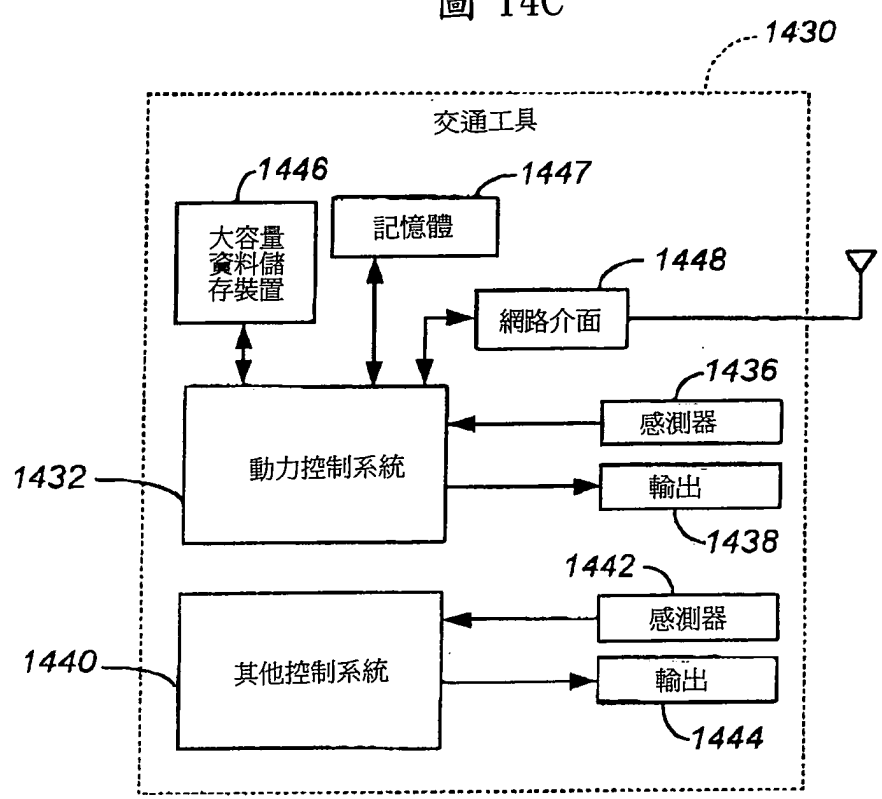


圖 14D

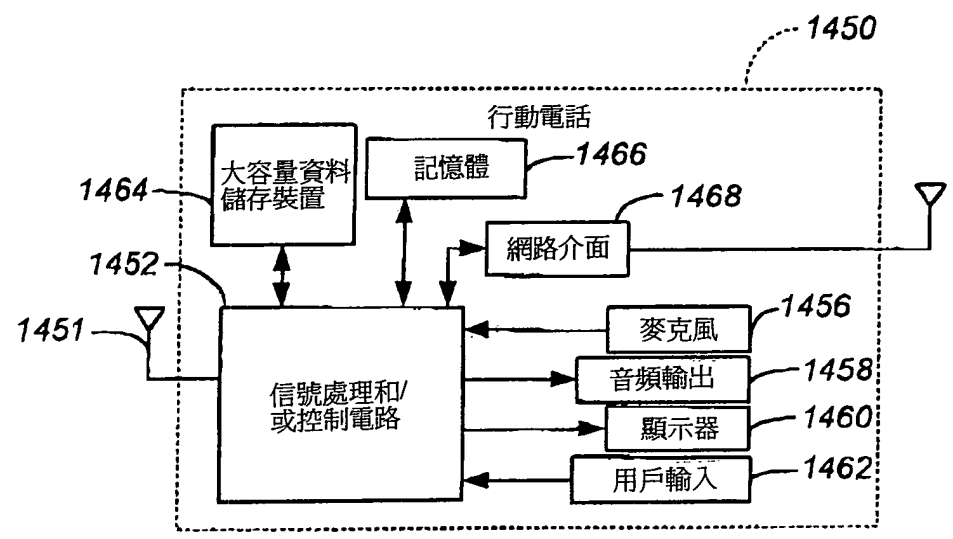


圖 14E

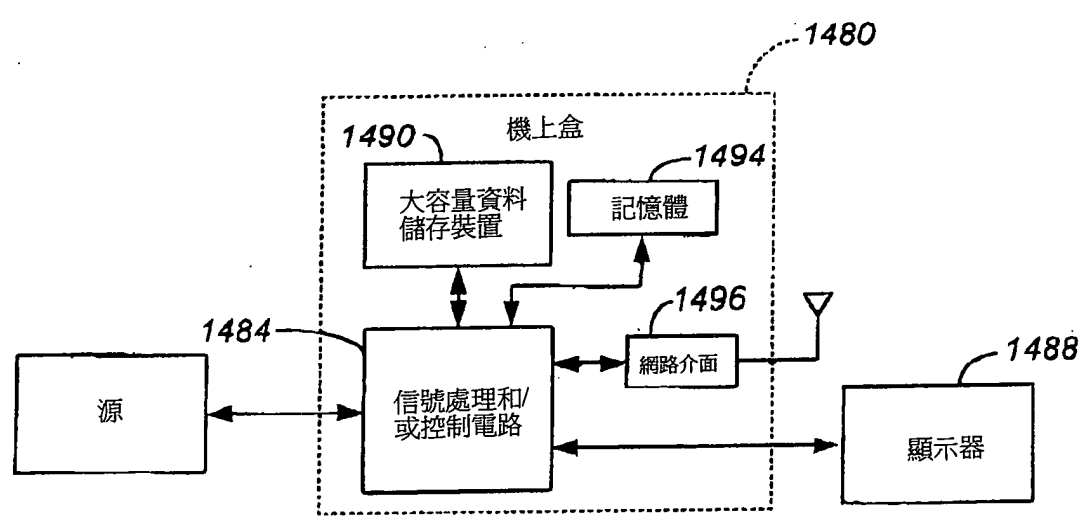


圖 14F

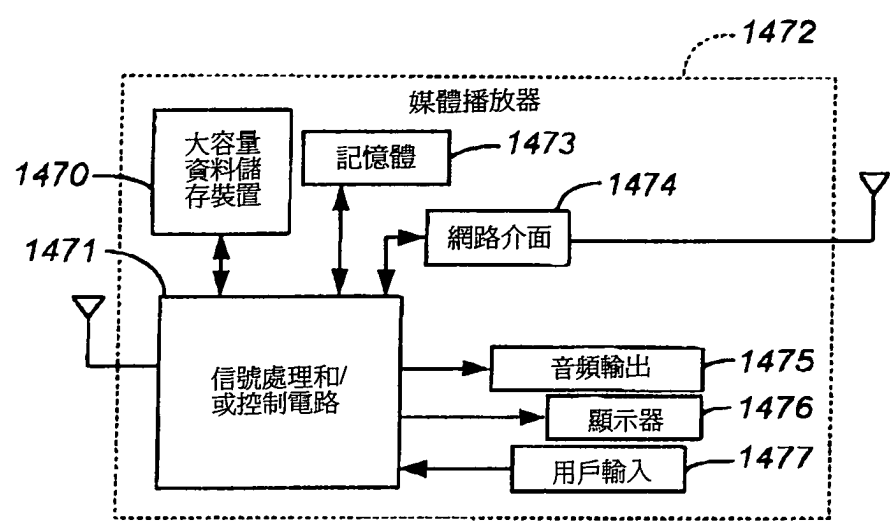


圖 14G

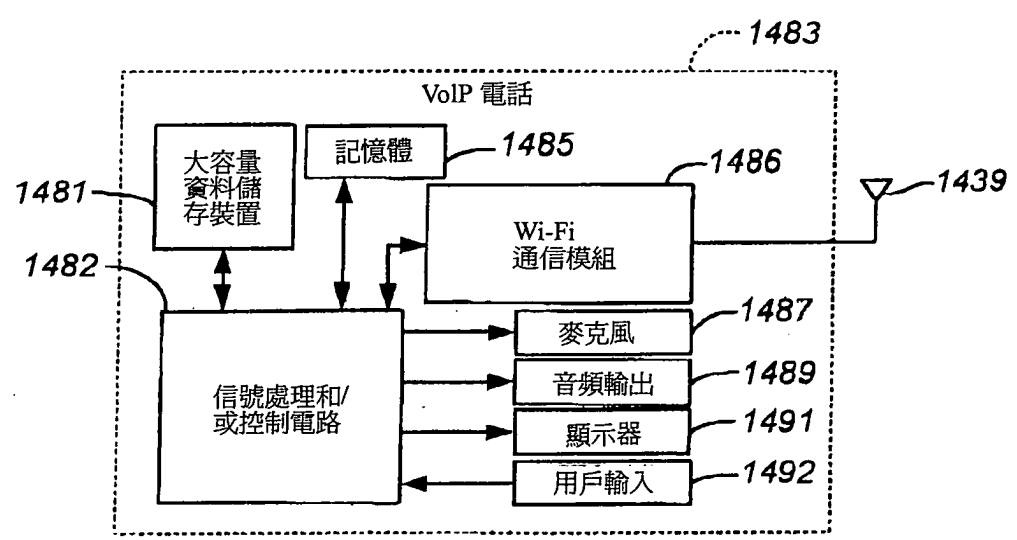


圖 14H

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (3A) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

300 非揮發性記憶體單元

310 編碼器

312 調製器

314 多級固態非揮發性記憶體

316 解調器

318 解碼器

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

十、申請專利範圍：

1. 一種固態非揮發性記憶體單元，包括：

第一編碼器，被配置用來產生第一編碼資料；

第二編碼器，與所述第一編碼器通信，所述第二編碼器被配置依據所述第一編碼資料來產生第二編碼資料；

多級固態非揮發性記憶體陣列，被配置用來儲存由所述第二編碼器編碼的所述第二編碼資料，該多級固態非揮發性記憶體陣列利用數位電平之一預定數目來儲存該第二編碼資料；

解調器，被配置基於該第二編碼資料用來產生信號，該信號的特徵為可能值的數目係大於用來儲存該第二編碼資料之數位電平的預定數目；

第一解碼器，被配置對從所述記憶體陣列獲得的所述第二編碼資料進行解碼；以及

第二解碼器，與所述第一解碼器通信，該第二解碼器被配置對所述第一解碼器之輸出進行解碼，

其中至少該第一解碼器處理由該解調器所產生的該信號。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述多級記憶體陣列是快閃記憶體 EEPROM 陣列。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第一編碼器係被配置用來執行第一 ECC 技術，所述第一 ECC 技術與由所述第二編碼器執行的第二 ECC 技術不同。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第一編碼器包括 Reed-Solomon 編碼器。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中進一步包含：

調製器，被配置用來對所述第二編碼資料進行調製以產

生調製資料，

其中該解調器，係進一步被配置用來對從所述記憶體陣列獲得的所述調製資料進行解調。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第二編碼器是二進位編碼器。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述二進位編碼器根據從由漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼構成的群組中選出的二進位碼進行編碼。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第二編碼器是從由非二進位編碼器和卷積編碼器構成的群組中選出的。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第二編碼器被佈置在網格編碼調製器中。

10. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第二編碼器是疊代編碼器。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述疊代編碼器根據從由低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼構成的群組中選出的碼進行編碼。

12. 如申請專利範圍第 10 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述疊代編碼器是基於符號的疊代編碼器。

13. 如申請專利範圍第 1 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述固態非揮發性記憶體單元被佈置在積體電路中。

14. 一種用於操作固態非揮發性記憶體單元的方法，該方法包括：

對第一資料進行編碼以產生第一編碼資料；

對所述第一編碼資料進行編碼以產生第二編碼資料；

將所述第二編碼資料儲存到多級固態非揮發性記憶體陣列中，該多級固態非揮發性記憶體陣列利用數位電平的一

預定數目來儲存該第二編碼資料；

從所述記憶體陣列獲得所述第二編碼資料；

基於該第二編碼資料產生信號，該信號的特徵為可能值的數目係大於用來儲存該第二編碼資料之數位電平的預定數目；

對從所述記憶體陣列獲得的所述第二編碼資料進行解碼以產生經解碼的資料；以及

對所述經解碼的資料進行解碼。

15. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中所述記憶體陣列是快閃記憶體 EEPROM 陣列。

16. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中對所述第一資料的編碼是根據第一 ECC 技術執行的，所述第一 ECC 技術與對所述第一編碼資料被編碼所根據的第二 ECC 技術不同。

17. 如申請專利範圍第 16 項所述的方法，其中所述第一 ECC 技術是 Reed-Solomon 碼。

18. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中進一步包含：

對所述第二編碼資料進行調製以產生調製資料；

將所述調製資料儲存到所述記憶體陣列中；

從所述記憶體陣列中獲得所述調製資料；以及

對從所述記憶體陣列中獲得的所述調製資料進行解調。

19. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中進一步包含：

根據二進位碼對所述第一編碼資料進行編碼。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述的方法，其中所述二進位碼是從由漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼構成的群組中選出的。

21. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中進一步包含：

根據非二進位碼和卷積碼之一對所述第一編碼資料進行編碼。

22. 如申請專利範圍第 18 項所述的方法，其中所述第一編碼資料之編碼包括網格編碼調製。

23. 如申請專利範圍第 14 項所述的方法，其中所述第一編碼資料之編碼是疊代編碼。

24. 如申請專利範圍第 23 項所述的方法，其中所述疊代編碼是根據從由低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼構成的群組中選出的碼執行的。

25. 如申請專利範圍第 23 項所述的方法，其中所述疊代編碼是基於符號的疊代編碼。

26. 一種固態非揮發性記憶體單元，包括：

用於對第一資料進行編碼以產生第一編碼資料的裝置；

用於對所述第一編碼資料進行編碼來產生第二編碼資料的裝置；

用於將所述第二編碼資料儲存到多級固態非揮發性記憶體陣列中的裝置，該多級固態非揮發性記憶體陣列利用數位電平的一預定數目來儲存該第二編碼資料；

用於從所述記憶體陣列獲得所述第二編碼資料的裝置；

用於基於該第二編碼資料產生信號的裝置，該信號的特徵為可能值的數目係大於用來儲存該第二編碼資料之數位電平的預定數目；

用於對從所述記憶體陣列獲得的所述第二編碼資料進行解碼的裝置；以及

用於對所述第二編碼資料進行解碼的裝置的輸出進行解碼的裝置。

27. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述記憶體陣列是快閃記憶體 EEPROM 陣列。

28. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中用於對所述第一資料進行編碼的裝置係配置用

來執行第一 ECC 技術，第一 ECC 技術不同於藉由用於對所述第一編碼資料進行編碼的該裝置進行編碼的裝置來執行的第二 ECC 技術。

29. 如申請專利範圍第 28 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述第一 ECC 技術是 Reed-Solomon 碼。

30. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中進一步包含：

用於對所述第二編碼資料進行調製的裝置以產生調製資料；

用於對將所述調製資料儲存到所述記憶體陣列中的裝置；

用於從所述記憶體陣列中獲得所述調製資料的裝置；以及

用於對從所述記憶體陣列中獲得的所述調製資料進行解調的裝置。

31. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中用於對所述第一編碼資料進行編碼的裝置根據二進位碼進行編碼。

32. 如申請專利範圍第 28 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述用於對所述第一編碼資料進行編碼的裝置根據從由漢明碼、BCH 碼、Reed-Muller 碼和陣列碼構成的群組中選出的二進位碼進行編碼。

33. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述用於對所述第一編碼資料進行編碼的裝置是從由非二進位編碼器和卷積編碼器構成的群組中選出的。

34. 如申請專利範圍第 30 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述用於對所述第一編碼資料進行編碼的裝置被設置在網格編碼調製器中。

35. 如申請專利範圍第 26 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述用於對所述第一編碼資料進行編碼的裝置

是疊代編碼器。

36. 如申請專利範圍第 35 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述疊代編碼器根據從由低密度奇偶校驗碼和 Turbo 碼構成的群組中選出的碼進行編碼。

37. 如申請專利範圍第 35 項所述的固態非揮發性記憶體單元，其中所述疊代編碼是基於符號的疊代編碼器。