



(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 201237648 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 09 月 16 日

---

(21)申請案號：100143289

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl. : **G06F17/16 (2006.01)**

(30)優先權：2010/12/06 美國 12/961,033

(71)申請人：萬國商業機器公司 (美國) INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：弗斯桑 高登 克萊德 FOSSUM, GORDON CLYDE (US)

(74)代理人：蔡玉玲

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：19 共 76 頁

---

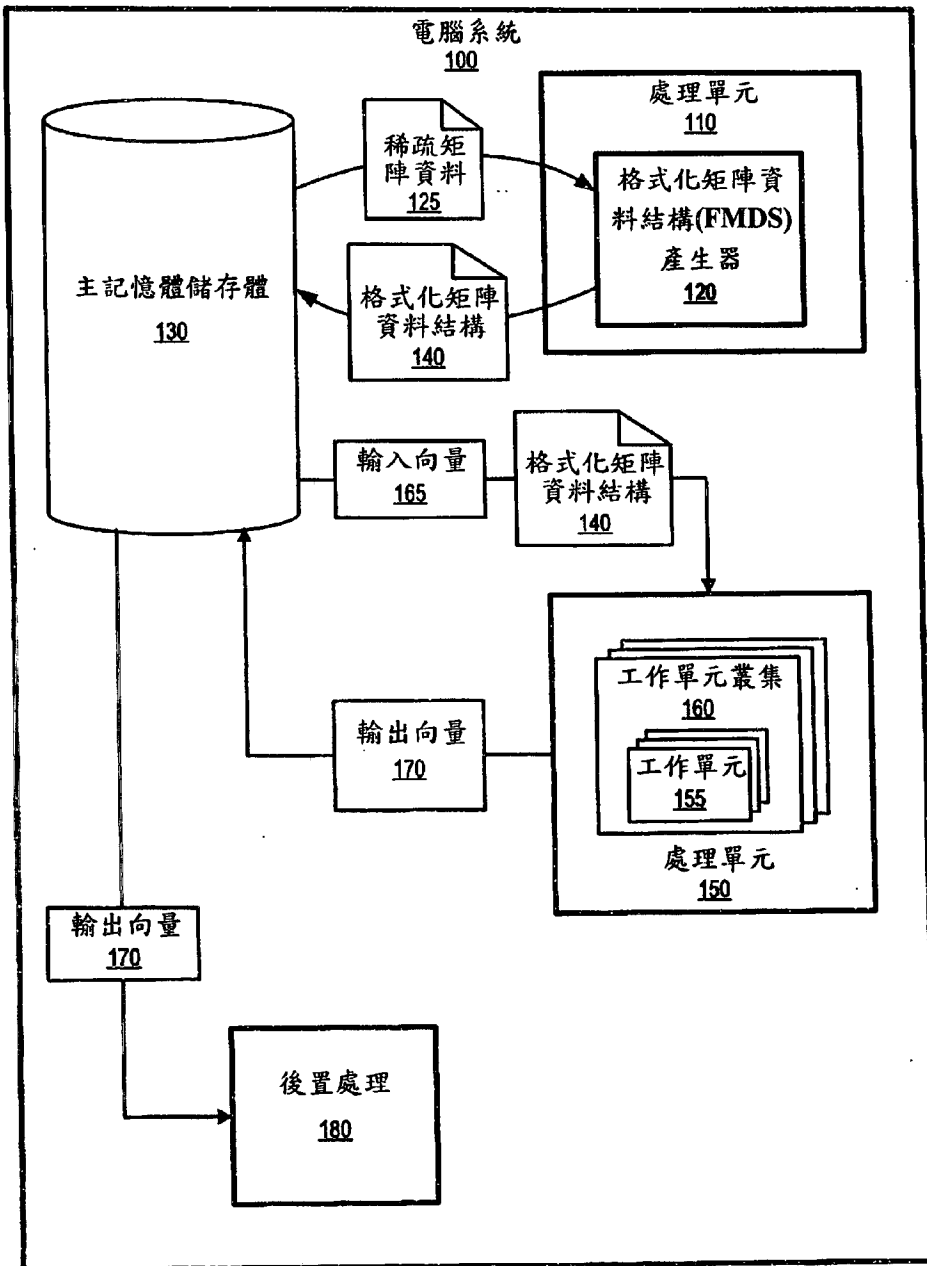
(54)名稱

使用格式化矩陣資料結構最佳化輸出向量資料的產生

OPTIMIZING OUTPUT VECTOR DATA GENERATION USING A FORMATTED MATRIX DATA STRUCTURE

(57)摘要

一種擷取封包之電腦系統包括對應稀疏矩陣列的非零元件。在此封包中，該等非零元件儲存在預先定義欄位，每一預先定義欄位對應該等稀疏矩陣列之一者。該電腦系統使用非零元件與對應的輸入值以計算對應該等稀疏矩陣列之每一者的輸出值。其次，該電腦系統儲存該等計算的輸出值在一輸出緩衝器中的連續位置且據此處理輸出值。



- 100：電腦系統
- 110：處理單元
- 120：格式化矩陣資料結構(FMDS)產生器
- 125：稀疏矩陣資料
- 130：主記憶體儲存體
- 140：格式化矩陣資料結構
- 150：處理單元
- 155：工作單元
- 160：工作單元叢集
- 165：輸入向量
- 170：輸出向量
- 180：後置處理



(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 201237648 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 09 月 16 日

---

(21)申請案號：100143289

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl. : **G06F17/16 (2006.01)**

(30)優先權：2010/12/06 美國 12/961,033

(71)申請人：萬國商業機器公司 (美國) INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：弗斯桑 高登 克萊德 FOSSUM, GORDON CLYDE (US)

(74)代理人：蔡玉玲

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：19 共 76 頁

---

(54)名稱

使用格式化矩陣資料結構最佳化輸出向量資料的產生

OPTIMIZING OUTPUT VECTOR DATA GENERATION USING A FORMATTED MATRIX DATA STRUCTURE

(57)摘要

一種擷取封包之電腦系統包括對應稀疏矩陣列的非零元件。在此封包中，該等非零元件儲存在預先定義欄位，每一預先定義欄位對應該等稀疏矩陣列之一者。該電腦系統使用非零元件與對應的輸入值以計算對應該等稀疏矩陣列之每一者的輸出值。其次，該電腦系統儲存該等計算的輸出值在一輸出緩衝器中的連續位置且據此處理輸出值。

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明有關從稀疏矩陣資料與輸入向量值有效率計算輸出向量值。更特別係，本發明有關使用一格式化矩陣資料結構以阻斷在稀疏矩陣計算期間寫入輸出向量值至一輸出向量。

### 【先前技術】

一稀疏矩陣典型包括非常大量的元件(例如，許多位元組)。這些元件中有某些包括值且形成「非零」元件。不過，元件當中有大百分比包括零(或全然沒有值)，即是術語「稀疏」矩陣。概念上，稀疏係符合疏鬆耦合的系統。

「矩陣」可定義為數值二維陣列。如果這些值的優勢為零，矩陣便認為一「稀疏矩陣」。概念上，如果一矩陣為稀疏，所代表的系統為「疏鬆耦合」。在解決部分微分方程式，大稀疏矩陣時常屬於科學或工程課題。例如，稀疏矩陣可用於具基本 2D 或 3D 幾何應用(諸如，結構工程、計算流體力學、模型減少、電磁學、半導體器件、熱力學、材料、音響學、電腦圖形/視圖、機器人工程/運動學、及其他離散化)。稀疏矩陣亦可用在典型不具此幾何的應用(諸如，最佳化、電路模擬、經濟與財務塑模、理論與量子化學、化學製程模擬、數學與統計、電力網路、及其他網路與圖形)。

### 【發明內容】

一電腦系統擷取包括對應稀疏矩陣列的非零元件之封包。在封包中，非零元件儲存在預先定義欄位，每一預先定義欄位對應該等稀疏矩陣列之一者。該電腦系統使用非零元件與對應的輸入值計算對應該等稀疏矩陣列之每一者的輸出值。其次，該電腦系統儲存該等計算的輸出值在一輸出緩衝器中的連續位置且適當處理輸出值。

前述為發明摘要，如此，必然包括細節的簡化、概括與省略；因此，所屬專業領域的技術人士應明白，前述摘要只是說明而不做限制。如文後申請專利範圍定義的本發明其他態樣、創作特徵及優點可從下面非限制性詳細描述變得更明白。

### 【實施方式】

某些特定細節是在下列描述與圖式中描述，以提供對本發明各種不同具體實施例的完全瞭解。時常結合電腦與軟體技術的某些熟知細節不會在下列揭示中描述，不過，不致對本發明各種不同具體實施例造成模糊。此外，所屬專業領域技術人士應瞭解，在沒有下面描述之一或多個細節下，可實施本發明的其他具體實施例。最後，雖然各種方法係參照下列揭示的步驟與順序描述，但此描述同樣是為提供對本發明具體實施例的清楚實施，且步驟與步驟順序對實施本發明而言，不為必然。相反地，下列是要提供本發明範例的詳細描述，且未侷限本發明。不過，任何變化皆在本發明的文後申請專利範圍所定義的範疇內。

所屬專業領域的技術人士應明白，本發明的態樣能夠以系統、方法或電腦程式產品具體實施。因此，本發明的態樣可採用一整個硬體具體實施例、一整個軟體具體實施例(包括韌體、常駐軟體、微碼等)、或一結合軟體與硬體態樣的具體實施例，軟體與硬體態樣通常在此稱為「電路」、「模組」或「系統」。此外，本發明的態樣能夠採用在一或多個電腦可執行儲存媒體上具體實施的一電腦程式產品形式，該電腦可執行儲存媒體具有在其具體實施的電腦可讀取程式碼。

可利用一或多個電腦可讀取媒體的任何組合。電腦可讀取媒體可為一電腦可讀取信號媒體、或一電腦可讀取儲存媒體。一電腦可讀取儲存媒體可為(例如、但未侷限於)電子、磁、光學、電磁、紅外線、或半導體系統、裝置、或器件、或任何前述適當組合。電腦可讀取儲存媒體的更特殊範例(一非詳盡的清單)將包括下列各項：具有一或多個電線的一電連接、一可攜式電腦磁片、一硬碟、一隨機存取記憶體(random access memory, RAM)、唯讀記憶體(read-only memory, ROM)、可抹除可編程唯讀記憶體(erasable programmable read-only memory, EPROM)或快閃記憶體)、一光纖、一可攜式唯讀記憶光碟(compact disc read-only memory, CD-ROM)、一光學儲存器件、一磁儲存器件、或前述任何適當組合。在本說明書的本文中，一電腦可讀取儲存媒體可為任何有形資產媒體，其包括或儲存可由一指令執行系統、裝置或器件使用或與其相關執行的程式。

一電腦可讀取信號媒體可包括一傳送資料信號、及在此媒體上具體實施的電腦可讀取程式碼，例如，基帶或為載波的一部分。此一傳送信號可採用多種形式任何一種，包括(但未侷限於)電磁、光學、或任何適當組合。一電腦可讀取信號媒體可為任何電腦可讀取媒體(不是一電腦可讀取儲存媒體)，且其可溝通、傳播、或傳送可由一指令執行系統、裝置、或器件使用或與其相關的程式。

在一電腦可讀取媒體上具體實施的程式碼可利用任何適當媒體傳送，包括(但未侷限於)無線、有線、光纖電纜、射頻(radio frequency, RF)等、或前述任何適當組合。

用於實施本發明態樣操作的電腦程式碼能夠以一或多個程式語言的任何組合撰寫，包括一物件導向程式語言，諸如 Java、Smalltalk、C++等、與傳統程序程式語言，諸如「C」程式語言或類似程式語言。程式碼可整個在使用者電腦、或部分在使用者電腦上，如同一單機套裝軟體，部分在使用者電腦上、及部分在一遠端電腦、或整個在遠端電腦或伺服器上執行。在後者情況，遠端電腦可透過任何類型網路連接至使用者電腦，包括一區域網路(local area network, LAN)或一廣域網路(wide area network, WAN)、或連接至一外部電腦(例如，透過使用網際網路服務提供者的網際網路)

本發明的態樣將在以下參考根據本發明具體實施例

的方法、裝置(系統)與電腦程式產品的流程圖說明、及/或方塊圖描述。應瞭解，流程圖說明及/或方塊圖之每一方塊、與在流程圖說明及/或方塊圖中的方塊組合能夠由電腦程式指令實施。這些電腦程式指令可提供給通用電腦、專用電腦、或其他可編程資料處理裝置的一處理器，以產生一機器，使得可經由電腦或其他可編程資料處理裝置之處理器執行的指令，建立用於實施在流程圖及/或方塊圖方塊中所指定的功能/行為的手段。這些電腦程式指令亦可儲存在一電腦可讀取媒體，以使電腦、其他可編程資料處理裝置、或其他裝置以特別方法運作，使得在電腦可讀取媒體儲存的指令可產生產品物件，包括實施在流程圖及/或方塊圖方塊中所指定功能/行為的指令。

電腦程式指令亦可載入一電腦、其他可編程資料處理裝置、或其他器件，以使一系列操作步驟可在電腦、其他可編程裝置、或其他器件執行，產生一電腦實施程序，使得在電腦、或其他可編程裝置上執行的指令可提供用於實施在流程圖及/或方塊圖方塊中所指定功能/行為的程序。

下列詳細描述通常遵循發明摘要，如上所述，依需要進一步解釋與擴充各種不同態樣的定義與本發明的具體實施例。

圖 1 為顯示一電腦系統的圖式，該電腦系統建立一格式化矩陣資料結構(formatted matrix data structure, FMDS)，其後，FMDS 乘上輸入向量以有效地產生輸出向

量資料。電腦系統 100 使用稀疏矩陣資料建立一格式化矩陣資料結構，以改善向量處理效能。在一具體實施例中，稀疏矩陣實質可大幅並高度重複使用於向量乘算(例如，成像應用)。同樣地，電腦系統 100 可將稀疏矩陣資料重新編組成一方便器件無關格式化矩陣資料結構，以改善跨多重硬體平台的效能。

電腦系統 100 包括處理單元 110，諸如，有能力執行如在此討論的通用處理單元、一圖形處理單元(graphical processing unit, GPU)、或其他類型處理單元。處理單元 110 包括：格式化矩陣資料結構(FMDS)產生器 120，其可為在處理單元 110 上執行的軟體應用程式；以硬體為主的邏輯，其存在處理單元 110 上；或以硬體為主的邏輯與軟體應用程式的組合。

FMDS 產生器 120 可從主記憶體儲存體 130 擷取稀疏矩陣資料 125。稀疏矩陣資料 125(例如)可為一市場矩陣(market matrix, MM)格式。在一具體實施例中，FMDS 產生器 120 可將稀疏矩陣資料 125 從 MM 格式轉換成一壓縮稀疏列(compressed sparse row, CSR)陣列格式(若要有關深入詳細資訊，請參見圖 9A 與對應的本文)。FMDS 產生器 120 可將稀疏矩陣資料 125 分成「橫列」與「區塊」。每一橫列可跨越稀疏矩陣的寬度，且包括多重區塊。每一區塊包括特別數量的元件「列」，其包括許多「元件」。此外，FMDS 產生器 120 可將元件列組群成「橫列」。一分段中的列數目係符合處理單元 150 的向量乘算架構。本發明假

設，一工作單元叢集 160(例如，硬體執行緒群組或核心)包括的工作單元 155(例如，硬體執行緒或核心)數目是 16(半線程組處理)。所屬專業領域技術人士應明白，更多或更少的工作單元可組群成在此討論的叢集。

一旦 FMDS 產生器 120 從稀疏矩陣資料 125 產生封包，FMDS 產生器 120 可根據橫列位置、區塊位置、與分段位置將封包儲存在格式化矩陣資料結構 140。此外，FMDS 產生器 120 可將資料結構表頭資訊儲存在格式化矩陣資料結構 140，以識別橫列偏移資訊、封包開始位置資訊、及屬於在每一橫列所包括封包的其他資訊(若要更深入詳細資訊，請參見圖 7 與對應的本文)。在一具體實施例中，FMDS 產生器 120 可將 FMDS 140 儲存回至主記憶體儲存體 130 供稍後擷取及由處理單元 150 使用。

處理單元 150 可為(例如)通用處理單元、或圖形處理單元。在一具體實施例中，處理單元 110 與處理單元 150 可為相同器件、或相同類型器件。處理單元 150 包括工作單元 115(例如，硬體執行緒或核心)，其係組成工作單元叢集 160。如前述，本發明假設工作單元叢集 160 之每一者包括 16 個工作單元 155 以「半線程組」方式處理資料。

處理單元 150 可擷取 FMDS 140 與輸入向量 165。處理單元 150 將輸入向量 165 乘上 FMDS 140 以建立輸出資料。同樣地，由於 FMDS 140 的組織結構，處理單元 150 可有效地將輸出資料直接「方塊寫」在輸出向量 170(減少

散佈操作)，及將輸出向量 170 儲存在主記憶體儲存體 130。其次，後置處理 180 會擷取輸出向量 170 且據此處理輸出資料(若要更深入詳細資訊，請參見圖 17 與對應的本文)。

在一具體實施例中，處理單元 150 使用一稀疏矩陣向量乘算(Sparse Matrix-Vector Multiplication, SpMV)演算法與一開放電腦語言(Open Computing Language, OpenCL)。此具體實施例可使用 OpenCL 核心碼，此核心碼可在一共同標準 OpenCL 平台上編譯及執行。其次，此具體實施例可提供一可攜式資料格式，包括(例如)單精準或倍精準浮點數，及橋接介於硬體特定碼(快速，但非可攜式)與單原始碼(可攜式，但無效率)之間的時間。

在另一具體實施例中，一 OpenCL 應用程式包括兩部件，分別為一「主機」碼，其在通用處理器上執行；及一「核心」碼，其可於計算單元上執行。在此具體實施例中，一 OpenCL API 包括一組查詢功能，以判定平台上可使用之計算器件的類型；有多少個別計算單元可用；及每個計算單元本地記憶體(例如，「靠近」計算單元的記憶體)的大小。此允許一系統調適性決定如何最佳化大型資料結構的大小與形狀(例如，區塊的大小與形狀)。

在另一具體實施例中，一第一核心實施讀/寫直接連續存取全域記憶體、與資料計算。第一核心可經由一 OpenCL CPU 或 GPU 器件最佳執行。在此核心中，「if-test」用來

區別 GPU(此架構具有一本質  $n$  路( $n$ -way)平行性)與 CPU。CPU 器件綜合此  $n$  路平行性、與該等本地工作群組項目之每一者的迴路。同樣地，此具體實施例利用一工作單元「叢集」的觀念，GPU 的工作單元數量為 16，且 CPU 的工作單元數量為 1。為了避免寫到本地輸出緩衝器時造成「競爭情況」，GPU 上的工作單元的每一「叢集」有其自己可寫入的本地緩衝器，直到矩陣被完全處理，此時，會累積不同的本地緩衝器，最後的結果會寫回到輸出向量。在此具體實施例中，一第二核心使用 OpenCL 的 `async_work_group_copy` 內建函式實施「遠端」全域記憶體與「近端」本地記憶體之間資料的緩衝讀與寫。

圖 2 為顯示分成橫列與區塊的稀疏矩陣圖式。稀疏矩陣 200 為大資料矩陣，該矩陣存在稀疏非零元件值(例如，非零位元組)。一格式化矩陣資料結構(FMDS)產生器可識別橫列邊界與區塊寬度，以劃分稀疏矩陣 200(若要更多詳細資訊，請參見圖 11 與對應的本文)。FMDS 產生器然後將區塊分成「分段」(分段 270)，此包括一特別數目列 260。如圖 1 所討論，每一分段的列數目符合每一工作單元叢集的工作單元數目，以達成隨後最大向量乘法效率。

每一橫列係對應一「橫列偏移」，用來識別橫列包括的第一列。同樣地，橫列中的每一區塊亦對應相同的橫列偏移，且識別在該等橫列區塊之每一者中的第一列。圖 2 顯示，區塊 240 的橫列偏移為橫列偏移 230，此係對應列 260 的第一者。FMDS 產生器包括在 FMDS 資料結構表頭

中的每一橫列的橫列偏移(若要更多詳細資訊，請參見圖 7 與對應的本文)。

每一區塊亦對應一「區塊偏移」，用來識別特別區塊包括的第一元件位置(例如，垂直位元組位置)。圖 2 顯示，區塊 240 的區塊偏移為區塊偏移 250。FMDS 產生器包括在每一封包的一特別區塊的區塊偏移，其針對特別區塊產生(若要更多詳細資訊，請參見圖 5-6 與對應的本文)。此外，FMDS 產生器包括一「分段偏移」，其對應每一封包表頭的每一分段(分段 270)，該封包表頭係針對一特別分段產生(若要更多詳細資訊，請參見圖 3、5-6 與對應的本文)。

圖 3 為顯示被分段的區塊圖式。區塊 240 與圖 2 顯示的區塊相同，且為稀疏矩陣 200 的一部分。區塊 240 包括多重分段，且每一分段包括多重列。如在此討論，每一分段的列數目係對應如圖 1 所示一工作單元叢集中的工作單元數目。圖 3 顯示的具體實施例顯示，每一分段包括 16 列與「M」個元件數目。

區塊 240 對應區塊偏移 250，同樣地，FMDS 產生器從區塊 240 包括的非零元件建立的每一封包將包括在其封包表頭的區塊偏移 250。FMDS 產生器亦識別每一區塊內的每一分段的「分段偏移」，其係對應每一分段的第一列。圖 3 顯示，分段 2360 具有一分段偏移 320。其次，FMDS 產生器包括每一封包的分段偏移 320，每一封包係對應分

段 2 360 所包括的非零元件(例如，元件 340)(若要更多詳細資訊，請參見圖 5、6，與對應的本文)。

在一具體實施例中，FMDS 產生器是從一區塊中的第一分段開始識別非零元件及建立封包。在一具體實施例中，FMDS 產生器是藉由建立分段 1 355 的封包開始，然後，建立分段 2 360 的封包。一旦 FMDS 產生器建立分段 n 365 的封包，FMDS 產生器選擇在相同橫列中的下一區塊，並開始建立下一區塊的第一分段的封包。一旦 FMDS 產生器達到一特別橫列的結束，FMDS 產生器選擇下一橫列，並開始建立下一橫列的第一橫列的封包。

在一具體實施例中，FMDS 產生器包括每一非零元件的兩部分資料資訊。第一部分資料資訊為非零元件的「元件索引」，用來識別列中的非零元件位置。第二部分資料資訊為非零元件的「元件值」，此為非零元件的實際值。FMDS 產生器將元件索引與元件值儲存在一封包中的列有關、預先定義欄位。例如，元件 340 是位在第 4 元件索引位置的分段 2 的第 9 列。假設，元件 340 的值為「6」，FMDS 產生器包括「4」在對應第 9 列的預先定義元件索引欄位中，且包括「6」在對應第 9 列的預先定義元件值欄位中(若要更多詳細資訊，請參見圖 5-6、8-9 與對應的本文)。

圖 4A 為顯示一稀疏矩陣乘上一輸入向量以產生輸出向量資料的圖式。藉由將稀疏矩陣資料組織成如在此揭示

的一格式化矩陣資料結構，一處理單元可執行一稀疏矩陣向量乘算(SpMV)演算法，將該稀疏矩陣乘上一輸入向量以產生輸出資料(例如， $y=A*x$ )，其為處理單元「方塊寫」至一輸出向量(若要更多詳細資訊，請參見圖 15 與對應的本文)。因此，處理單元可改善快取利用及最小化「聚集/散佈」無效率。

稀疏矩陣 200(具所有「零元件」)分成一些橫列，其寬度跨矩陣的整個寬度，且其高度係對應一輸出向量(輸出向量 420)的一鄰接區段。橫列中的每一區塊係對應輸入向量 400 的一適當大鄰接區段(例如，區段 405)。圖 4A 亦顯示在稀疏矩陣偏移、輸入向量偏移、與輸出向量偏移間的關係。區塊偏移 250 係對應一輸入向量偏移，其包括輸入資料，其乘上在區塊 240 包括的矩陣資料。橫列偏移 230 與橫列偏移 320 係分別對應輸出向量第一偏移 430 與輸出向量第二偏移 440，其中，輸出資料為針對區塊 240 中的一特別分段寫入。

圖 4B 為顯示一些計算以識別在一稀疏矩陣中非零元件位置的表格(表 450)。在一具體實施例中，一非零元件欄位置偏移係等於其區塊偏移(輸入向量偏移)加上其封包元件索引。非零元件的列位置係等於其橫列偏移加上(+)分段偏移加上(+)封包列數，其係等於輸出向量第一偏移加上(+)輸出向量第二偏移加上(+)封包列數。

圖 5 為顯示一 FMDS 產生器產生作為單精準運算的封

包圖式。單精準封包 500 為 128 個位元組長，且包括表頭 510、索引欄位 520、與值欄位 530。索引欄位 520 包括在一選定分段中每列的一預先定義欄位。例如，如果一分段的第二列在元件索引 9 中具有非零值，FMDS 產生器會儲存「9」在預先定義在列 2 的索引欄位。圖 5 的範例顯示，單精準封包 500 包括 16 個索引欄位，每列的一索引欄位包括在一分段，其係對應指定給一工作單元叢集的工作單元數目。

稀疏矩陣資料係以此方法組織成封包，以保證封包中的元件對應矩陣的連續列。同樣地，計算結果的單方塊寫用來更新包括稀疏矩陣的計算目標輸出向量。此外，此可免除具有 16 個分開列索引的需要，而是一單偏移索引。因此，計算運算後，不需要分散運算。相反地，一系統可對每一封包執行一單 64 個位元組或 128 個位元組讀/修改/寫入，以更新一輸出向量。

同樣地，值欄位 530 包括分段中每列的一預先定義欄位。利用上面範例，如果第二列的非零元件值為 4，FMDS 產生器可儲存「4」在預先定義給列 2 的索引欄位(若要更多詳細資訊，請參見圖 8-9C 的與對應的本文)。圖 5 的具體實施例顯示，單精準封包 500 包括 16 個值欄位，一分段包括的每列有一值欄位，該值欄位係對應指定給半線程組電腦架構工作單元叢集的工作單元數目。在此具體實施例中，每一封包的第一元件係與一輸出陣列的一元件有關，其索引為 16 的倍數，且封包的每一隨後元件會更新

輸出陣列的對應隨後元件。因此，只將偏移的一索引儲存在輸出陣列，該偏移索引係對應封包的第一元件。

表頭 510 包括四個欄位，分別是區塊偏移欄位 540、下一區塊偏移欄位 550、目前橫列剩餘封包數欄位 560、與分段偏移欄位 570。FMDS 產生器可儲存一區塊偏移在區塊偏移欄位 540，該區塊偏移係對應索引欄位 530 與值欄位 530 中包含元件資訊的特別區塊。例如，請即參考圖 4A，FMDS 產生器包括在偏移欄位 540 的區塊偏移 250。如圖 4A 所討論，區塊偏移係與輸入向量偏移互有關聯，輸入向量偏移包括的資料係與區塊 240 包括的資料相乘。

為了要促進輸入向量方塊上的「向前讀取」，FMDS 產生器儲存對應下一區塊(包括非零元件)的偏移(有關目前區塊)。請回參圖 4A，且假設，區塊 240 右邊的區塊包括一非零元件，FMDS 產生器包括在下一區塊偏移欄位 550 的下一區塊偏移 410。如圖 4A 所討論，下一區塊偏移係與下一輸入向量偏移有關，輸入向量偏移包括的資料係與下一區塊中包括的資料相乘。

在一具體實施例中，FMDS 產生器可以逐橫列基礎建立非零元件的封包。在此具體實施例中，一旦封包建立給一選定的橫列，FMDS 產生器會從建立的最後封包(對應最後區塊、最後分段等)開始，及儲存每一封包的增量「剩餘封包」數目在欄位 560，當處理封包時，此允許核心控制其迴路結構。例如，最後封包會是「0」儲存在欄位 560，

最後封包的前一個是「1」儲存在欄位 560 等。

表頭 510 亦包括分段偏移欄位 570，此係對應分段偏移，包括在封包中儲存的元件資訊。請回參圖 4A 且假設，封包包括在區塊 240 的最後分段的元件資訊，FMDS 產生器包括在分段偏移欄位 570 的分段偏移 320。如圖 4A 所討論，分段偏移係與輸出向量(為其儲存輸出資料)420 的輸出向量第二偏移有關聯。因此，輸出索引不是個別儲存在一封包，而是一單偏移(分段偏移欄位 570)載入每一封包，且當寫入一輸出向量時，所有輸出資料會暗中脫離此偏移。此外，本地輸出緩衝器的每一讀-修改-寫操作會整個合併跨 16 個計算單元(若要更多詳細資訊，請參見圖 15-17 與對應的本文)。

圖 6 為顯示一 FMDS 產生器產生作為倍精準運算的一封包圖式。除了倍精準封包 600 是 192 個位元組長而不是 128 個位元組長以外，倍精準封包 600 係類似圖 5 顯示的單精準封包 500。表頭 610 與索引欄位 620 係類似表頭 510 與索引欄位 520，但是值欄位 630 是大於值欄位 520 以支援倍精準元件值。

圖 7 為顯示一格式化矩陣資料結構(FMDS)的圖式。FMDS 700 包括 FMDS 資料結構表頭 710，在一具體實施例，該表頭在每橫列(欄位 720-750)包括四個預先定義的欄位。橫列置換陣列位置偏移欄位 720 包括橫列置換陣列的偏移位置，其包括在特別橫列中的列排序資訊(若要更多

詳細資訊，請參見圖 11、14 與對應的本文)。例如，橫列 0 置換陣列位置偏移 725 可識別偏移 760，其為橫列 0 的置換陣列的位置。橫列封包開始位置偏移欄位 730 之每一者包括一開始位置，其中，一特別橫列的封包係儲存在 FMDS 700。例如，橫列 0 封包開始位置偏移 735 可識別偏移 770，其為橫列 0 的封包開始位置。

FMDS 表頭 710 亦包括每一橫列的橫列偏移欄位 740 之一。此值係對應與稀疏矩陣有關的橫列偏移位置，諸如在圖 2 顯示的橫列偏移 230。FMDS 表頭 710 亦包括每一橫列的橫列列數量欄位 750 之一。FMDS 產生器可識別每一橫列的列數目，且在每一橫列的對應橫列列數量欄位 750 中，輸入一適當數目。

FMDS 封包 720 顯示，FMDS 產生器如何在 FMDS 700 中組織封包。從圖可看出，封包先由橫列數組織而成(從 0 開始)。一特別橫列的封包是由區塊數、及由每一區塊中的分段數組織而成。在一具體實施例中，當一特別分段產生多個封包(從一特別列包括的多重非零元件)時，這些封包可根據封包產生的順序組織而成。此表示，每列的第一非零元件包括在第一封包中，每列的第二非零元件包括在第二封包中等(若要更多詳細資訊，請參見圖 9A-C 與對應的本文)。

圖 8 為顯示一 FMDS 產生器如何將非零元件資訊從一稀疏矩陣區塊分段映射至一封包的圖式。分段 800 為在一

稀疏矩陣的一橫列中的一區塊的一部分。分段 800 包括 16 列(列 810)與 M 元件索引 820。在一具體實施例中，分段 800 每列可具有數千個元件。

分段 800 包括兩非零元件。一非零元件是在列 0，元件索引 1，且另一非零元件是在列 7，元件索引 6。同樣地，對於列 0 而言，FMDS 產生器儲存「1」在指定給列 0 的元件索引欄位，且儲存元件值在指定給列 0 的值欄位中。同樣地，對於列 7 而言，FMDS 產生器儲存「6」在指定給列 7 的元件索引欄位，且儲存元件值在指定給列 7 的值欄位中。如果分段 800 包括具有一個以上非零元件的任何列，FMDS 產生器可建立另一封包以處理隨後非零元件(若要更多詳細資訊，請參見圖 9A-9C 與對應的本文)。

圖 9A 為顯示轉換成壓縮稀疏列(CSR)陣列的稀疏矩陣區塊分段資訊之圖式。分段 900 包括 16 列與四個元件索引，此為簡化範例。在一具體實施例中，分段 800 可具有數千元件索引。分段 900 的列之每一者包括一非零元件，且一些列包括兩非零元件。這些非零元件可表示為市場矩陣值 910，此每一值包括一列值、一元件索引值、與一元件值。在一具體實施例，FMDS 產生器可擷取市場矩陣值 910，且為了容易處理，可將其轉換成 CSR 格式陣列 920。CSR 格式陣列 920 包括列值的單獨陣列、元件索引值與元件值。其次，FMDS 產生器使用 CSR 格式陣列 920 建立一格式化矩陣資料結構(若要更多詳細資訊，請參見圖 9-14 與對應的本文)。

圖 9B 與 9C 為從圖 9A 顯示的分段 900 包括的非零元件產生的封包圖式。FMDS 產生器可識別每列的第一非零元件，其為具實線圓圈的元件。FMDS 產生器包括在對應每列的預先定義索引欄位與值欄位中的元件索引與元件值。從圖可看出，由於列 0 包括「1」在元件索引 0 中，所以第一封包 930 包括「1」在指定給列 0(欄位 932)的值欄位中，且包括 0 在指定給列 0(欄位 938)的索引欄位中。此外，因為分段 900 的每列包括至少一非零元件，所以所有第一封包 930 的元件索引欄位與元件值欄位可被填滿。

圖 9B 為 FMDS 產生器建立的第二封包，以處理包括第二非零元件的列(使用虛線圓圈表示的元件)的圖式。因為相對半數列包括第二非零元件，所以相對半數欄位會被填寫在第二封包 940。例如，因為列 3 只包括一非零元件(其與第一封包 930 一起處理)，所以指定給列 3 的元件索引欄位與元件值欄位在第二封包 940 中是空的。所屬專業領域技術人士應明白，FMDS 產生器可包括「0」或 NULL 值在欄位中，其對應的列不包括非零值。

圖 10 為顯示基於本地儲存使用偏好，選擇區塊維度參數時所採行步驟的流程圖。程序從 1000 開始，因此，程序從主記憶體儲存體 130 擷取稀疏矩陣資料(步驟 1005)。在一具體實施例中，稀疏矩陣資料為一市場矩陣(MM)格式。在步驟 1010，為了要在向量基礎上處理資料，程序會產生及儲存稀疏矩陣資料在 CSR(壓縮稀疏列)格式

陣列，並儲存陣列在資料儲存體 1015(若要更多詳細資訊，請參見圖 9A 與對應的本文)。

其次，在步驟 1020，程序擷取本地儲存偏好。在一具體實施例中，使用者指定本地儲存是否只用於輸出資料緩衝；或者，本地儲存是否應用來緩衝所有資料(輸入向量資料、矩陣資料、與輸出向量資料)。一決定可判斷是否本地儲存只用於輸出緩衝或緩衝所有資料(判斷 1025)。如果本地儲存只用於輸出緩衝，判斷 1025 會分支到「只緩衝輸出」分支 1027，因此，在步驟 1030，程序會選擇及儲存一區塊寬度參數在偏好儲存體 1040。在一具體實施例中，只要區塊寬度不大於整個矩陣大小或不大於 65,536，程序儘可能選擇一區塊寬度的最大數目。

在步驟 1045，程序可選擇及儲存最大區塊高度參數在偏好儲存體 1040。在一具體實施例中，程序可選擇一最大區塊高度為允許所有可用工作群組叢集具有至少一橫列處理、及亦允許輸出緩衝資料(基於區塊高度)適合本地記憶體的一數值。當識別橫列斷點時，程序可稍後使用這些偏好(若要更多詳細資訊，請參見圖 11 與對應的本文)。程序是在 1050 結束。

另一方面，如果本地儲存應用來緩衝所有資料，判斷 1025 會分支到「緩衝所有資料」分支 1029，因此，程序可將本地記憶體邏輯劃分成一輸入資料緩衝區域、一矩陣資料緩衝區域、與一輸出資料緩衝區域(步驟 1055)。其

次，程序選擇及儲存一區塊寬度參數在偏好儲存體 1040(步驟 1060)。在一具體實施例中，區塊寬度可能是具寬度比完整矩陣的大小更小的限制的一最大數字；寬度沒有大的超過 65,536；且輸入緩衝器(基於區塊寬度)適合輸入資料緩衝區域。

在步驟 1065，程序選擇及儲存一最大區塊高度參數在偏好儲存體 1040。在一具體實施例中，程序將一最大區塊高度選擇為允許所有可用工作群組叢集具有至少一橫列處理、及亦允許輸出緩衝資料(基於區塊高度)適合本地記憶體的一數值。程序在 1070 結束。

圖 11 為顯示從稀疏矩陣資料產生一格式化矩陣資料結構時所採行步驟的流程圖。程序從步驟 1100 開始，因此，程序從參數儲存體 1040 擷取參數(步驟 1105)，程序用於識別橫列斷點。在圖 10 建立的參數係指出最大區塊寬度與區塊大小。在一具體實施例中，程序識別一稀疏矩陣的非零元件總數(例如，CSR 大陣列的元件數目)，且非零元件總數除以工作單元叢集的數目，此可產生「每一橫列的元件目標數目」(例如，保證每一工作叢集有可執行的工作)。在此具體實施例中，程序可分析 CSR 陣列及識別可最嚴格產生每一橫列目標數目的列邊界。其次，這些列邊界會變成橫列邊界。在此具體實施例，超過「最大區塊高度」參數(從步驟 1105)的橫列邊界可調整到最大區塊高度，產生具有比元件目標數目更少的非零元件之一橫列(若要更多詳細資訊，請參見圖 10 與對應的本文)。

在步驟 1115，程序選擇第一橫列及記錄一橫列偏移在偏移儲存體 1110。橫列偏移係對應在稀疏矩陣內的選定橫列中的第一列位置(在圖 3 與 4A 顯示的橫列偏移 310)。例如，第一(頂端)橫列偏移可為「0」。在步驟 1118，設法減少一橫列中的「不平衡分段」數目(其中資料未平均散佈在分段列的分段，造成封包出現太多零)，程序可根據其對應的非零元件密度(列中有多少非零元件)排序橫列列(橫列中的列)。程序亦儲存索引在一置換陣列，以識別橫列列排序順序，且儲存置換陣列在偏移儲存體 1110。其次，未來輸出資料世代處理可讀取置換陣列，以決定如何將輸出資料寫回到主記憶體，以儲存資料在適當配置(若要更多詳細資訊，請參見圖 17 與對應的本文)。

其次，在步驟 1120，程序會選擇在選定橫列中的第一區塊，及將一區塊偏移記錄在偏移儲存體 1110。區塊偏移係對應在選定區塊中所包括第一元件的位置。例如，第一(最左邊)區塊偏移可為「0」(圖 4A 顯示，目前選定第二橫列的第二區塊)。橫列偏移與區塊偏移兩者隨後儲存在對應選定區塊的每一封包(在下面討論)。

在步驟 1125，程序選擇在選定區塊中的第一分段，及將一分段偏移記錄在偏移儲存體 1110。再次，對於在第一區塊的第一(頂端)分段而言，分段偏移可為「0」。橫列偏移、區塊偏移、與分段偏移可為每一者儲存在每一封包，該封包係產生用於在選定分段中包括的非零值(若要更多

詳細資訊，請參見圖 12 與對應的本文)。

程序從對應選定分段的暫時儲存體 1015 擷取及識別非零元件(步驟 1130)。在一具體實施例中，這些元件是以一 CSR 陣列格式存在，諸如在圖 10 產生者。一判斷可決定是否為在選定分段中的任何非零元件(判斷 1140)。例如，因為稀疏矩陣為稀疏植入非零元件，所以有許多分段、或甚至區塊，不包括非零元件。

如果選定的分段不包括任何非零元件，判斷 1140 會分支到「否」分支 1142，省略選定分段的封包產生步驟。另一方面，如果在選定分段中有包括任何非零元件，判斷 1140 便分支到「是」分支 1148，因此，程序會產生選定分段的封包(包括在偏移儲存體 1110 中的偏移資訊)，且儲存封包在記憶體儲存體 130(預先定義的程序方塊 1150，若要更多詳細資訊，請參見圖 12 與對應的本文)。

一決定可判斷在選定區塊中是否有更多要處理的分段(判斷 1160)。如果有更多要處理的分段，判斷 1160 會分支到「是」分支 1162，其會返回以選擇下一分段。此迴路會持續直到選定區塊沒有更多要處理的分段，此時，判斷 1160 會分支到「否」分支 1168。

一判斷可決定在選定橫列中是否有更多要處理的區塊(判斷 1170)。如果有更多要處理的區塊，判斷 1170 會分支到「是」分支 1172，返回到選擇下一區塊。此迴路會

持續直到在選定橫列中沒有更多要處理的區塊，此時，判斷 1170 會分支到「否」分支 1178。

一旦封包產生給選定的橫列，程序完成選定橫列的每一封包的表頭資訊，連同包括 FMDS 表頭的橫列資訊(預先定義程序方塊 1175，若要更多詳細資訊，請參見圖 13 與對應的本文)。

一決定可判斷稀疏矩陣是否有更多要處理的橫列(判斷 1180)。如果有更多要處理的橫列，判斷 1180 會分支到「是」分支 1182，返回到選擇下一橫列。此迴路會持續直到稀疏矩陣沒有更多要處理的橫列，此時，判斷 1180 會分支到「否」分支 1188，因此，程序在 1190 結束。

圖 12 為顯示產生稀疏矩陣資料(在圖 11 選定)選定分段的封包時所採行步驟的流程圖。程序從 1200 開始，因此，程序會從對應到選定分段與區塊的偏移儲存體 1110，擷取儲存的區塊偏移與分段偏移資訊。在步驟 1210，程序會建立封包 1215 之一，及儲存區塊偏移與分段偏移在對應的封包表頭欄位(若要更多詳細資訊，請參見圖 5-6 與對應的本文)。兩其他封包欄位(一下一區塊偏移欄位與許多封包剩餘欄位)是取決於尚未產生給特別分段(例如，其他區塊的封包)的其他封包。同樣地，在一具體實施例中，在產生一選定橫列的每一封包之前，未填寫這些欄位(若要更多詳細資訊，請參見圖 13 與對應的本文)。

程序選擇在選定分段的第一列，且一決定可判斷第一列是否包括一非零元件(判斷 1220)。如果第一列包括一非零元件，判斷 1220 可分支到「是」分支 1222，因此，程序會儲存非零元件的元件索引在封包 1215 包括的一元件索引欄位中，該封包係預先定義給第一列。然後，程序儲存非零元件的元件值在封包 1215 包括的一元件值欄位，該封包係預先定義給第一列(若要更多詳細資訊，請參見圖 5-6 與對應的本文)。

另一方面，如果第一列不包括一非零元件，判斷 1220 會分支到「否」分支 1228，因此程序儲存(在一具體實施例中)零在指定給第一列的特別元件索引欄位與元件值欄位。所屬專業領域技術人士應明白，其他具體實施例可能識別在一特別列是否缺乏非零元件，諸如，儲存 NULL 值在元件索引欄位。

一決定可判斷選定的分段是否有更多列(判斷 1250)。在一具體實施例中，每一分段包括 16 列(若要更多詳細資訊，請參見圖 3 與對應的本文)。如果有更多要處理的列，判斷 1250 會分支到「是」分支 1252，返回選擇下一列(例如，第二列)，且處理該列的非零元件。此迴路會持續，直到處理該分段中的每一列(例如，16 列)，此時，判斷 1250 會分支到「否」分支 1258。此時，每列中的每一第一非零元件已被處理，且表示在第一封包 1215。請即參考圖 9A，第一封包表示帶實線圓圈的非零元件之每一者。

一決定可判斷在選定分段(在任何列)是否有更多還未處理的非零元件(判斷 1260)。請即參考圖 9A，使用虛線表示的非零元件之每一者仍然需要資訊儲存在封包，諸如，圖 9C 所示者。如果分段有更多要處理的非零元件，判斷 1260 會分支到「是」分支 1262，返回處理在每列的第二非零元件。在一具體實施例中，許多列可能不包括第二非零元件，在此情況，零(或 NULL)值儲存在其個別元件索引欄位、及/或元件值欄位(步驟 1240)。

此迴路會持續，直到封包 1215 之一者表示每一非零元件，此時，判斷 1260 會分支到「否」分支 1268，因此程序在 1270 結束。

圖 13 為顯示完成對應一特別橫列封包的封包表頭資訊時所採行步驟的流程圖。一旦程序產生一整個橫列的封包(若要更多詳細資訊，請參見圖 11 與對應的本文)，程序會填寫對應橫列的每一封包的兩剩餘表頭欄位(下一區塊偏移欄位與封包剩餘數目欄位)。

程序從 1300 開始，因此，程序會清除「剩餘封包數目」計數器值與「下一區塊偏移」值。在一具體實施例中，程序開始在橫列的「最後封包」填寫表頭欄位，其係對應最後區塊包括的最後分段。在此具體實施例中，程序重新計數有關每個封包的一特定橫列的剩餘封包數目。

在步驟 1310，程序識別在主記憶體儲存體 130 中對應選定橫列的最後區塊的封包。一決定可判斷任何封包是否對應最後區塊(判斷 1320)。例如，橫列的最後區塊可能不包括任何非零元件，在此範例中，程序未產生最後區塊的任何封包。如果沒有存在對應最後區塊的封包，判斷 1320 會分支到「否」分支 1322，返回到選擇先前區塊(例如，最後區塊的第二者)，並決定任何封包是否對應選定的先前區塊。此迴路會持續，直到處理識別具有對應封包的區塊，此時，判斷 1320 會分支到「是」分支 1328。

在步驟 1325，程序選擇對應選定區塊的最後封包。其次，程序儲存一剩餘封包數目值與一下一區塊偏移值在選定封包(步驟 1330)。例如，如果選定的封包對應橫列的最後區塊，程序可包括一「0」或一 NULL 值在下一區塊偏移(因為封包對應最後區塊)，且包括「0」或 NULL 在剩餘封包數目(因為該封包為橫列的最後封包)。在另一範例中，如果選定的封包是最後橫列從最後封包的第 10 封包，程序可輸入剩餘封包數目「9」。在仍然另一範例中，假設，100 個封包係對應最後區塊，且要處理對應最後區塊的第二者的最後封包的第 5 者，程序要在下一區塊偏移欄位輸入對應最後區塊的下一區塊偏移，且在剩餘封包數目欄位(100+4)輸入「104」(若要更多詳細資訊，請參見圖 4A 與對應的本文)。

一決定可判斷是否有對應選定區塊的更多要完成表頭資訊的封包(判斷 1340)。如果有更多要處理的封包，判

斷 1340 會分支到「是」分支 1342，因此，程序返回增量剩餘封包數目計數器(步驟 1345)，及儲存下一區塊偏移值與剩餘封包數目值在下一封包。此迴路會持續，直到沒有更多要處理之對應選定區塊的封包。

一決定可判斷是否有更多對應封包要處理的橫列中包括的區塊(判斷 1350)。如果有更多在選定橫列包括的區塊，判斷 1350 會分支到「是」分支 1352，其返回將目前選定區塊偏移記錄為一「下一區塊偏移」值(步驟 1360)，且因此處理先前區塊的封包。例如，如果程序剛完成處理「區塊 9」的封包，然後處理記錄的區塊 9 的偏移位置會是下一區塊偏移值，將會包括在對應「區塊 8」的封包中。

此迴路會持續，直到程序處理橫列的每個封包，此時，判斷 1350 會分支到「否」分支 1358。在步驟 1370，程序從偏移儲存體 1110 擷取一橫列置換陣列、一封包開始位置偏移、一橫列偏移、與許多列值，且儲存擷取資訊在 FMDS 表頭 1375 中的選定橫列的預先定義欄位(若要更多詳細資訊，請參見圖 7、11 與對應的本文)。

在步驟 1380，程序係基於先前橫列的最後封包的結束位址，記錄下一橫列的一封包開始位置偏移。程序在 1390 回返。

圖 14 為顯示一稀疏矩陣乘上一輸入向量以產生一輸出向量的圖式。一稀疏矩陣向量乘算(SpMV)演算法係計

算方程式公式  $y=A * x$ ，其中， $y$  是一輸出向量， $x$  是一輸入向量，及  $A$  是一矩陣(稀疏矩陣)。稀疏矩陣 1440 包括列 1445 至 1465。一工作叢集中的每一工作單元係負責一特別的列的計算。當稀疏矩陣 1440 乘上輸入向量 1470 時，疏矩陣列 1445-1465 之每一者係分別對應輸出向量 1400 的列 1405-1430 之每一者。當一工作單元將區塊 X 1442 的列 1445 乘上輸入向量 1470 時，工作單元儲存計算  $a*1+b*2+c*3+d*4+e*5$  的值在輸出向量位置 1405。同樣地，當工作單元將區塊 Y 1444 的列 1445 乘上輸入向量 1470 時，工作單元可利用一明確在稀疏矩陣大多數的零上運算的未改善演算法，將計算  $f*26+g*27+h*28+i*29+j*30$  的值加到上面現有計算。

因此，藉由集中在稀疏矩陣 1440 的一單列，一工作單元叢集之每一工作單元便可計算一特別輸出向量位置的輸出值。本發明描述此基本概念的改善，其中矩陣中的資料組織成封包，此仍然允許每一工作單元集中在一單列，但移除大多數無關的「乘零」運算。封包可仍然包括一些零元件，但頻率明顯減少(若要更多詳細資訊，請參見圖 15-17 與對應的本文)。

圖 15 為顯示處理來自預先定義封包欄位位置資料的工作單元圖式。如在此討論，封包 500 包括對應一稀疏矩陣連續列的預先定義欄位，且工作單元叢集 1510 包括連續列之每一者的工作單元。圖 15 顯示工作單元 0 1520 從屬於「列 0」的封包 500 擷取資訊，且工作單元 15 1530

從屬於「列 15」的封包 500 擷取資訊。

在一具體實施例中，當一工作單元從封包 1500 擷取一元件值時，工作單元利用當作擷取位置基礎的輸入向量偏移 540，從輸入向量 1540 擷取一對應的輸入值。一旦工作單元叢集 1510 中的工作單元之每一者執行乘算，工作單元叢集 1510 利用當作儲存位置基礎的輸出向量第二偏移 570，執行一方塊寫及儲存方塊寫輸出 1560(16 個輸出值)在輸出向量 1550。

圖 16 為顯示處理用於指定橫列與方塊寫輸出值給一輸出向量的封包之工作單元叢集圖式。FMDS 1600 包括對應許多橫列的封包。工作單元叢集 1640-1655 之每一者係指定處理一群「橫列封包」以產生輸出資料，使得工作單元叢集 1640-1655 之每一者可方塊寫到可位在一本地輸出緩衝器的輸出向量 1660。工作單元叢集 1640-1655 之每一者計算一封包的「部分輸出值」，且將部分輸出值加到輸出向量 1660 中一群連續列的一累積目前輸出值。當每一工作單元叢集結束處理其封包時，指定給該叢集的輸出向量 1660 的部分會儲存回主記憶體。在一具體實施例中，在列儲存在主記憶體前，程序利用一置換陣列以重新配置在輸出向量 1660 中的列(若要更多詳細資訊，請參見圖 17 與對應的本文)。

圖 17 為顯示稀疏矩陣資料乘上輸入向量資料、與方塊寫結果至一輸出向量所採行步驟的流程圖。程序從 1700

開始，其中每一工作單元叢集接收一橫列指定，諸如，橫列 2(步驟 1705)。在步驟 1710，每一工作單元叢集擷取資料結構表頭資訊，諸如，封包開始位置偏移、橫列偏移、與橫列列數量、連同一對應指定橫列的置換陣列(若要更多詳細資訊，請參見圖 7 與對應的本文)。

其次，在步驟 1715，工作單元叢集清除其本地輸出向量緩衝器 1718。然後工作單元叢集在基於封包開始位置偏移(在上面擷取)的位置上從主記憶體儲存體 130 擷取一封包。在步驟 1725，叢集中的每一工作單元係在其指定列上進行運算(使用對應的元件值與輸入偏移)。

在步驟 1730，對於每一元件而言，工作單元叢集(或個別工作單元)從主記憶體儲存體 130 擷取一輸入向量資料值(若要更多詳細資訊，請參見圖 15 與對應的本文)。在步驟 1735，每一工作單元接著將擷取的輸入值乘上其對應值以產生一「部分輸出值」。其次，在步驟 1740，每一工作單元擷取對應其指定輸出位置的一目前輸出值；將部分輸出值加到目前輸出值；及將結果儲存回至本地輸出向量緩衝器 1718 中的指定輸出位置(步驟 1745，若要更多詳細資訊，請參見圖 15 與對應的本文)。

在一具體實施例中，一系統包括一記憶體控制器，以當一工作單元在目前輸入資料(例如，一目前區塊的封包)上執行運算(例如，乘法)時，擷取未來輸入資料(例如，下一區塊的封包)。在此具體實施例中，記憶體控制器從一

封包的「區塊偏移欄位」(例如,「目前區塊偏移」)擷取一偏移,及讀取位在擷取偏移上的輸入資料。當記憶體控制器識別一封包(其區塊偏移不同於目前區塊偏移)時,記憶體控制器開始讀取位在封包的「下一區塊偏移」欄位上的輸入資料。此具體實施例允許輸入資料可立即由工作單元用於乘法運算。此外,在此具體實施例中,當工作叢集在另一本地記憶體緩衝器的目前封包組上運算時,記憶體控制器從全域記憶體擷取未來矩陣封包至一本地記憶體緩衝器。此具體實施例允許矩陣資料立即由工作單元用於乘法運算。

一決定可判斷是否有對應指定橫列的任何更多封包(判斷 1750)。如果有更多封包,判斷 1750 會分支到「是」分支 1752,因此,工作單元叢集會返回處理另一封包。此迴路會持續,直到沒有更多要針對橫列處理的封包,此時,判斷 1750 會分支到「否」分支 1758。在步驟 1760,每一工作單元叢集使用在上面 1710 擷取的置換陣列,以決定在主記憶體的正確位置,以儲存每一輸出值在其本地輸出陣列,且儲存在其本地陣列的所有值在主記憶體儲存體 130 的正確目的地。在一具體實施例中,此時,工作單元叢集可指定給不同橫列及處理對應不同橫列的封包。

在步驟 1770,程序處理在主記憶體儲存體中儲存的輸出向量值。例如,使用者可利用正方形金屬板進行實驗,四邊緣當中有三邊緣係藉由外部熱源「保持」在三個不同溫度,而第四邊緣(與內部)不找尋其本身「穩定狀態」溫

度。使用者可在金屬板上建立格柵點，然後表示為一維陣列溫度值(例如，一 100 x 100 格柵產生大小 10,000 的一維向量)。

繼續此範例，當此實驗經由時間步驟進行，一稀疏矩陣(行列大小為 10,000 x 10,000)可包括資訊，此資訊係對應每點本身擁有的影響力、及其八個相鄰元件。稀疏矩陣包括加權因素，使得一元件的輸出為八個相鄰元件之每一者的溫度值加權總和加上本身。在此範例中，輸入向量值估計係輸入作為每點的溫度，然後，乘上稀疏矩陣資訊以評估輸出向量值。然後，基於輸出向量值調整輸入向量值，及再乘上稀疏矩陣資料。在此範例中，新的輸入向量只是最近產生的輸出向量，但其他範例可利用更多的非一般性處理。在一些重複之後，一穩定狀態可達成，其中，輸出向量值係對應一定義容許偏差中的輸入向量值，因此，可用來表示金屬板上 10,000 點中每一點的穩定狀態溫度。

所屬專業領域技術人士應明白，其他後處理實施可用於專門領域，諸如，結構工程、計算流動力學、模型減少、電磁學、半導體器件、熱力學、材料、音響學、電腦圖形/視野、機器人工程/運動學等。程序是在 1780 結束。

圖 18 為顯示一寬帶元件架構圖式，該架構包括能夠執行在此所述電腦運算的複數個異種處理器。異種處理器可分享一共用記憶體與一共用匯流排。寬帶元件架構

(broadband element architecture, BEA)1800 可透過輸入/輸出 1870 傳送資訊給外部裝置，及從外部裝置接收資訊，及利用處理器元件匯流排 1860 分配資訊給控制平面 1810 與資料平面 1840。控制平面 1810 管理 BEA 1800 及分配工作給資料平面 1840。

控制平面 1810 包括執行作業系統(OS)1825 的處理單元 1820。例如，處理單元 1820 可為一嵌入在 BEA 1800 的 Power PC 核心，且 OS 1825 可為一 Linux 作業系統。處理單元 1820 管理 BEA 1800 的一共同記憶體映射表。記憶體映射表係對應在 BEA 1800 包括的記憶體位置，諸如 L2 記憶體 1830、以及在資料平面 1840 中包括的非私用記憶體。

資料平面 1840 包括協處理元件(Synergistic processing element, SPE)1845、1850、與 1855。每一 SPE 用來處理資料資訊，且每一 SPE 可具有不同指令組。例如，BEA 1800 可用在一無線通訊系統，且每一 SPE 可負責個別的處理工作，諸如，調變、晶片率處理、編碼、與網路介面。在另一範例中，每一 SPE 可具有相同指令組，且可用於平行執行衍生自平行處理的運算。每一 SPE 包括一協處理單元(synergistic processing unit, SPU)，其為一處理核心，諸如，一數位信號處理器、一微控制器、一微處理器、或這些核心的組合。

SPE 1845、1850、與 1855 連接至處理器元件匯流排

1860，在控制平面 1810、資料平面 1840、與輸入/輸出 1870 間傳遞資訊。匯流排 1860 為一晶片同調多處理器匯流排，其在 I/O 1870、控制平面 1810、與資料平面 1840 之間傳遞資訊。輸入/輸出 1870 包括彈性的輸入-輸出邏輯，其可基於連接至 BEA 1800 的周邊器件，動態指定介面接腳給輸入輸出控制器。

圖 19 例示資訊處理系統 1900，其為能夠執行在此所述電腦運算的一電腦系統的另一範例。資訊處理系統 1900 包括一或多個耦合至處理器介面匯流排 1912 的處理器 1910。處理器介面匯流排 1912 連接處理器 1910 至 Northbridge 1915，其亦已知為記憶體控制器集線器 (Memory Controller Hub, MCH)。Northbridge 1915 連接至系統記憶體 1920，及提供一構件給處理器 1910 以存取系統記憶體。圖形控制器 1925 亦連接至 Northbridge 1915。在一具體實施例中，PCI Express 匯流排 1918 連接 Northbridge 1915 至圖形控制器 1925。圖形控制器 1925 連接至顯示器件 1930，諸如一電腦螢幕。

Northbridge 1915 與 Southbridge 1935 利用匯流排 1919 彼此連接。在一具體實施例中，匯流排為一直接媒體介面 (Direct Media Interface, DMI) 匯流排，能以高速在 Northbridge 1915 與 Southbridge 1935 間的每一方向傳輸資料。在另一具體實施例，一周邊部件互接 (Peripheral Component Interconnect, PCI) 匯流排連接 Northbridge 與 Southbridge。Southbridge 1935，亦已知為 I/O 控制器集線

器(I/O Controller Hub, ICH)為一通常實施比 Northbridge 提供的能力更慢速操作能力的一晶片。Southbridge 1935 典型提供用來連接各種不同部件的各種不同匯流排。這些匯流排包括(例如)PCI 與 PCI Express 匯流排、一 ISA 匯流排、一系統管理匯流排(System Management Bus, SMBus 或 SMB)、及/或一低針腳數(Low Pin Count, LPC)匯流排。LPC 匯流排時常連接低頻寬器件, 諸如, 啟動程式 ROM 1996 與「原有」I/O 器件(使用一「超級 I/O」晶片)。「原有」I/O 器件(1998)可包括(例如)序列與並列埠、鍵盤、滑鼠、及/或一軟磁碟控制器。LPC 匯流排亦連接 Southbridge 1935 至可信任平台模組(Trusted Platform Module, TPM)1995。時常在 Southbridge 1935 包括的其他部件包括一直接記憶體存取(Direct Memory Access, DMA)控制器、一可編程中斷控制器(Programmable Interrupt Controller, PIC)、與一儲存器件控制器, 其利用匯流排 1984 連接 Southbridge 1935 至非揮發性儲存器件 1985, 諸如一硬碟機。

ExpressCard 1955 為連接熱插拔器件至資訊處理系統的一插槽。ExpressCard 1955 支援 PCI Express 與 USB 連接性兩者, 其利用通用序列匯流排(USB)PCI Express 匯流排連接至 Southbridge 1935。Southbridge 1935 包括 USB 控制器 1940, 提供 USB 連接性給連接至 USB 的器件。這些器件包括 WebCam(相機)1950、紅外線(IR)接收器 1948、鍵盤與軌跡墊 1944、與藍牙器件 1946, 供無線個人區域網路(personal area network, PAN)使用。USB 控制器 1940

亦提供 USB 連接性給其他各種 USB 連接器件 1942，諸如，一滑鼠、可移除式非揮發性儲存器件 1945、數據機、網路卡、ISDN 連接器、傳真、印表機、USB 集線器、與許多其他類型的 USB 連接器件。雖然可移除式非揮發性儲存器件 1945 顯示為一 USB 連接器件，但可移除非揮發性儲存器件 1945 可利用一不同介面加以連接，諸如，一火線介面等。

無線區域網路(LAN)器件 1975 經由 PCI 或 PCI Express 匯流排 1972 連接至 Southbridge 1935。LAN 器件 1975 典型實施全部使用相同協定在資訊處理系統 1900 與另一電腦系統或器件之間無線溝通的 IEEE802.11 傳輸調變技術標準其中一者。光學儲存器件 1990 利用序列 ATA(Serial ATA, SATA)匯流排 1988 連接至 Southbridge 1935。序列 ATA 轉接器與器件經由一高速序列鏈結溝通。序列 ATA 匯流排亦連接 Southbridge 1935 至其他形式儲存器件，諸如，硬碟機。音頻電路 1960(諸如，一音效卡)經由匯流排 1958 連接至 Southbridge 1935。音頻電路 1960 亦提供一些功能性，諸如，音頻線路輸入與光學數位音頻輸入埠 1962、光學數位輸出與耳機插座 1964、內部喇叭 1966、與內部麥克風 1968。乙太網路控制器 1970 利用一匯流排(諸如 PCI 或 PCI Express 匯流排)連接至 Southbridge 1935。乙太網路控制器 1970 連接資訊處理系統 1900 至一電腦網路，諸如，一區域網路(LAN)、網際網路、及其他公眾與私人電腦網路。

雖然圖 19 顯示一資訊處理系統，但一資訊處理系統可採用許多形式。例如，一資訊處理系統可採行一桌上型、伺服器、可攜式、膝上型電腦、筆記型電腦、或其他形式電腦、或資訊處理系統的形式。此外，一資訊處理系統可採行其他形式，諸如，一個人數位助理(personal digital assistant, PDA)、一遊戲器件、ATM 機器、一可攜式電話器件、一通訊器件、或包括一處理器與記憶體的其他器件。

圖式中的流程圖與方塊圖例係示意說明根據本發明各種不同具體實施例的系統、方法與電腦程式產品可能實施的架構、功能性、與運算。關於這一點，流程圖或方塊圖中的每一方組塊可代表程式碼的模組、分段或部分，包括用於實施指定邏輯功能的一或多個可執行指令。亦應注意，在一些替代性實施中，方組塊中描述的功能可能以不是圖中顯示的順序發生。例如，連續顯示的兩方組塊實際上可實質同時執行，或該等方組塊有時以相反順序執行，此取決於包括的功能性。亦應注意，方塊圖及/或流程圖說明的每一方組塊、與方塊圖及/或流程圖說明的方組塊組合可利用執行指定功能或行為的特殊目的專用硬體為主的系統、或專用特殊目的硬體與電腦指令組合加以實施。

雖然本發明的特別具體實施例已顯示及描述，但所屬專業領域技術人士應明白，基於此處之教示可進行改變及修改，不致背離本發明及其較廣態樣。因此，文後申請專利範圍在其範疇內，包括在本發明的真實精神與範疇內的所有此等改變與修改。此外，應瞭解，本發明只由文後申

請專利範圍定義。所屬專業領域技術人士應瞭解，如果想要特定數目的引用主張元件，此將明確引用在申請專利範圍，且未引用部分沒有此限制性。為了要幫助瞭解，對於非限制範例而言，文後申請專利範圍包括使用術語「至少一」與「一或多個」引用主張元件。不過，此術語的使用未構成暗含將包含此引用主張元件的任何特殊申請專利範圍侷限在只包含「一」此揭示的元件，即使相同主張包括引用術語「一或多個」或「至少一者」、與「一」；此同樣適用於使用「該」與「該等」的申請專利範圍。

### 【圖式簡單說明】

所屬專業領域技術人士可藉由參考附圖對本發明的許多目的、特徵與優點更瞭解，其中：

圖 1 為顯示一電腦系統的圖式，該電腦系統建立一格式化矩陣資料結構(FMDS)，其後，FMDS 乘上輸入向量以有效地產生輸出向量資料；

圖 2 為顯示分成橫列與區塊的稀疏矩陣圖式；

圖 3 為顯示被分段的區塊圖式；

圖 4A 為顯示一稀疏矩陣乘上一輸入向量以產生輸出向量資料的圖式；

圖 4B 為顯示計算以識別一稀疏矩陣中非零元件位置的一表格(表 450)；

圖 5 為顯示一 FMDS 產生器所產生作為單精準運算的一封包圖式；

圖 6 為顯示一 FMDS 產生器所產生作為倍精準運算的一封包圖式；

圖 7 為顯示一格式化矩陣資料結構(FMDS)的圖式；

圖 8 為顯示 FMDS 產生器如何將非零元件資訊從一稀疏矩陣區塊分段映射至一含預先定義欄位的封包的圖式；

圖 9A 為顯示轉換成壓縮稀疏列(CSR)陣列的稀疏矩陣區塊分段資訊之圖式；

圖 9B 與 9C 為從圖 9A 顯示之分段 900 所包括的非零元件產生之封包的圖式；

圖 10 為顯示基於本地儲存使用偏好，選擇區塊維度參數時所採行步驟的流程圖；

圖 11 為顯示從稀疏矩陣資料產生一格式化矩陣資料結構時所採行步驟的流程圖；

圖 12 為顯示產生一稀疏矩陣資料選定分段的封包時所採行步驟的流程圖；

圖 13 為顯示完成對應一特別橫列之封包表頭資訊所採行步驟的流程圖；

圖 14 為顯示一稀疏矩陣乘上一輸入向量以產生一輸出向量的圖式；

圖 15 為顯示處理來自預先定義封包欄位位置資料的工作單元圖式；

圖 16 為顯示處理用於指定橫列與方塊寫輸出值給一輸出向量的封包之工作單元叢集圖式；

圖 17 為顯示稀疏矩陣資料乘上輸入向量資料、與方塊寫結果至一輸出向量所採行步驟的流程圖；

圖 18 為顯示一寬帶元件架構圖，該架構包括複數個能夠執行在此所述電腦運算的異種處理器；及

圖 19 為顯示能夠執行在此所述電腦運算之電腦系統

的另一範例之圖式。

【主要元件符號說明】

- 100 電腦系統
- 110 處理單元
- 120 格式化矩陣資料結構(FMDS)產生器
- 125 稀疏矩陣資料
- 130 主記憶體儲存體
- 140 格式化矩陣資料結構
- 150 處理單元
- 155 工作單元
- 160 工作單元叢集
- 165 輸入向量
- 170 輸出向量
- 180 後置處理
- 200 稀疏矩陣
- 230 橫列偏移
- 240 區塊
- 250 區塊偏移
- 260 列
- 270 分段
- 320 分段偏移
- 340 元件
- 355 分段 1

- 360 分段 2
- 365 分段 n
- 400 輸入向量
- 405 區段
- 410 區塊偏移
- 420 輸出向量
- 430 輸出向量第一偏移
- 440 輸出向量第二偏移
- 450 表
- 500 單精準封包
- 510 表頭
- 520 索引欄位
- 530 值欄位
- 540 區塊偏移欄位
- 550 下一區塊偏移欄位
- 560 目前橫列剩餘封包數欄位
- 570 分段偏移欄位
- 600 倍精準封包
- 610 表頭
- 620 索引欄位
- 630 值欄位
- 700 格式化矩陣資料結構
- 710 FMDS 資料結構表頭
- 720 橫列置換陣列位置偏移欄位

- 725 橫列 0 置換陣列位置偏移
- 730 橫列封包開始位置偏移欄位
- 735 橫列 0 封包開始位置偏移
- 740 橫列偏移欄位
- 750 橫列列數量欄位
- 760 偏移
- 770 偏移
- 800 分段
- 810 列
- 820 元件索引
- 900 分段
- 910 市場矩陣值
- 920 CSR 格式陣列
- 930 第一封包
- 932 欄位
- 938 欄位
- 940 第二封包
- 1015 資料儲存體
- 1110 偏移儲存體
- 1215 封包
- 1375 FMDS 表頭
- 1400 輸出向量
- 1405 列
- 1410 列

- 1420 列
- 1425 列
- 1430 列
- 1440 稀疏矩陣
- 1442 區塊 X
- 1444 區塊 Y
- 1445 列
- 1465 列
- 1470 輸入向量
- 1510 工作單元叢集
- 1520 工作單元 0
- 1530 工作單元 15
- 1540 輸入向量
- 1550 輸出向量
- 1560 方塊寫輸出
- 1600 格式化矩陣資料結構
- 1640 工作單元叢集
- 1645 工作單元叢集
- 1650 工作單元叢集
- 1655 工作單元叢集
- 1660 輸出向量
- 1718 本地輸出向量緩衝器
- 1800 寬帶元件架構
- 1810 控制平面

- 1820 處理單元
- 1825 作業系統
- 1830 L2 記憶體
- 1840 資料平面
- 1845 協處理元件
- 1850 協處理元件
- 1855 協處理元件
- 1860 處理器元件匯流排
- 1870 輸入/輸出
- 1900 資訊處理系統
- 1910 處理器
- 1912 處理器介面匯流排
- 1915 Northbridge
- 1918 PCI Express 匯流排
- 1919 匯流排
- 1920 系統記憶體
- 1925 圖形控制器
- 1930 顯示器件
- 1935 Southbridge
- 1940 USB 控制器
- 1942 USB 連接器件
- 1944 鍵盤與軌跡墊
- 1945 可移除式非揮發性儲存器件
- 1946 藍牙器件

- 1948 紅外線(IR)接收器
- 1950 WebCam(相機)
- 1955 ExpressCard
- 1958 匯流排
- 1960 音頻電路
- 1962 音頻線路輸入與光學數位音頻輸入埠
- 1964 光學數位輸出與耳機插座
- 1966 內部喇叭
- 1968 內部麥克風
- 1970 乙太網路控制器
- 1972 PCI 或 PCI Express 匯流排
- 1975 無線區域網路(LAN)器件
- 1984 匯流排
- 1985 非揮發性儲存器件
- 1988 序列 ATA(SATA)匯流排
- 1990 光學儲存器件
- 1995 可信任平台模組
- 1996 啟動程式 ROM
- 1998 「原有」I/O 器件

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100143289

申請日：100年11月25日      ※IPC分類：G06F 17/6 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

使用格式化矩陣資料結構最佳化輸出向量資料的產生

OPTIMIZING OUTPUT VECTOR DATA GENERATION USING A  
FORMATTED MATRIX DATA STRUCTURE

二、中文發明摘要：

一種擷取封包之電腦系統包括對應稀疏矩陣列的非零元件。在此封包中，該等非零元件儲存在預先定義欄位，每一預先定義欄位對應該等稀疏矩陣列之一者。該電腦系統使用非零元件與對應的輸入值以計算對應該等稀疏矩陣列之每一者的輸出值。其次，該電腦系統儲存該等計算的輸出值在一輸出緩衝器中的連續位置且據此處理輸出值。

三、英文發明摘要：

A computer system retrieves a packet that includes non-zero elements that correspond to sparse-matrix rows. Within the packet, the non-zero elements are stored in predefined fields that each correspond to one of the sparse-matrix rows. The computer system computes output values to correspond with each of the sparse-matrix rows using the non-zero elements and corresponding input values. In turn, the

computer system stores the computed output values in consecutive locations within an output buffer and processes the output values accordingly.

七、申請專利範圍：

1. 一種電腦實施之方法，該方法包括：

擷取一第一封包，其包括一或多個非零元件且對應一稀疏矩陣中該等複數個列之一或多個列，其中該等一或多個非零元件儲存在該第一封包中所包括的該等複數個預先定義欄位的一或多個欄位，每一欄位對應該等複數個列之一者；

使用一或多個非零元件與一或多個對應輸入值以計算對應該等複數個列之每一者的複數個輸出值；

儲存該等複數個輸出值在一輸出緩衝器中包括的複數個連續位置；及

處理該等複數個輸出值。

2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其包括：

執行一單區塊寫操作以儲存該等複數個輸出值在該等複數個連續位置。

3. 如申請專利範圍第 2 項之方法，其更包括：

從封包擷取一輸出向量第二偏移，其中該輸出向量第二偏移對應該等複數個連續位置的一第一位置；及

使用該擷取的輸出向量第二偏移以執行該單區塊寫操作。

4. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該稀疏矩陣劃分成複數個橫列，該第一封包對應在該等複數個橫列中包括的一第一橫列，該方法更包括：

指定複數個工作單元叢集之一第一者給該第一橫列，其中

該第一工作單元叢集包括複數個工作單元，其每一者與該等複數個預先定義欄位之一者為一對一關係。

5. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其更包括：

擷取對應該等複數個列的一第二封包，該第二封包包含一或多個不同非零元件；

使用一或多個不同非零元件與一或多個對應的不同輸入值以計算不同複數個輸出值；及

加入該等不同複數個輸出值至對應複數個輸出值，產生複數個目前輸出值。

6. 如申請專利範圍第 5 項之方法，其中一格式化矩陣資料結構包含第一封包與第二封包，該方法更包括：

從該格式化矩陣資料結構擷取一置換陣列，其中該置換陣列識別一順序以排列複數個目前輸出值；

根據該置換陣列排列該等複數個目前輸出值；及

儲存該等排列的複數個目前輸出值在一輸出向量。

7. 如申請專利範圍第 6 項之方法，其更包括：

指定該等複數個工作單元叢集之每一者給該等複數個橫列之不同者；及

針對該等複數個工作單元叢集之每一者，計算不同複數個目前輸出值，其每一者對應該輸出向量的一子集。

8. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其更包括：

從該第一封包擷取一輸入向量偏移；

識別一或多個輸入向量位址，其基於該輸入向量偏移以擷取一或多個對應輸入值，且一或多個預先定義欄位包括該等一或多個非零元件；及

從該等識別的一或多個輸入向量位址擷取一或多個對應輸入值。

9. 一種資訊處理系統，其包括：

一或多個處理器；

一記憶體，其可由該等處理器之至少一者存取；

一組指令，其儲存在該記憶體及由該等處理器之至少一者執行以進行下列動作：

擷取一第一封包，其包含對應在一稀疏矩陣中複數個列之一或多個列的一或多個非零元件，其中該等一或多個非零元件儲存在該第一封包中所包括的複數個預先定義欄位的一或多個欄位中，其每一者對應該等複數個列之一者；

使用一或多個非零元件與一或多個對應輸入值以計算對應該等複數個列之每一者的複數個輸出值；

儲存該等複數個輸出值在一輸出緩衝器中包括的複數個連續位置；及

處理該等複數個輸出值。

10. 如申請專利範圍第9項之資訊處理系統，其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

執行一單區塊寫操作以儲存該等複數個輸出值在該等複數個連續位置。

11. 如申請專利範圍第 10 項之資訊處理系統，其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

從該封包擷取一輸出向量第二偏移，其中該輸出向量第二偏移對應該等複數個連續位置的一第一位置；及

使用該擷取的輸出向量第二偏移以執行該單區塊寫操作。

12. 如申請專利範圍第 9 項之資訊處理系統，其中該稀疏矩陣劃分成複數個橫列，該第一封包對應在該等複數個橫列中包含的一第一橫列，且其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

指定複數個工作單元叢集之一第一者給該第一橫列，其中該第一工作單元叢集包含複數個工作單元，其每一者與該等複數個預先定義欄位之一者為一對一關係。

13. 如申請專利範圍第 12 項之資訊處理系統，其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

擷取對應該等複數個列的一第二封包，該第二封包包含一或多個不同非零元件；

使用一或多個不同非零元件與一或多個對應不同輸入值以計算不同複數個輸出值；及

加入該等不同複數個輸出值至該等對應複數個輸出值，產生複數個目前輸出值；

或

其中一格式化矩陣資料結構包含該第一封包與該第二封包，且其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

從該格式化矩陣資料結構擷取一置換陣列，其中該置換陣列識別一順序以排列該等複數個目前輸出值；

根據該置換陣列以排列該等複數個目前輸出值；及

儲存該等排列的複數個目前輸出值在一輸出向量；

或

其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

指定該等複數個工作單元叢集之每一者給該等複數個橫列之不同者；及

針對該等複數個工作單元叢集之每一者，計算不同複數個目前輸出值，其每一者對應該輸出向量的一子集。

14. 如申請專利範圍第9項之資訊處理系統，其中當該等處理器之至少一者執行該組指令時，該組指令進一步執行下列動作：

從該第一封包擷取一輸入向量偏移；

識別一或多個輸入向量位址，其基於該輸入向量偏移以擷取一或多個對應輸入值且一或多個預先定義欄位包含一或多個非零元件；及

從該等識別的一或多個輸入向量位址擷取一或多個對應輸入值。

15. 一種包括功能描述物件之電腦程式產品，當一資訊處理系統執行該電腦程式產品時，該資訊處理系統執行如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項之方法的步驟。

八、圖式：

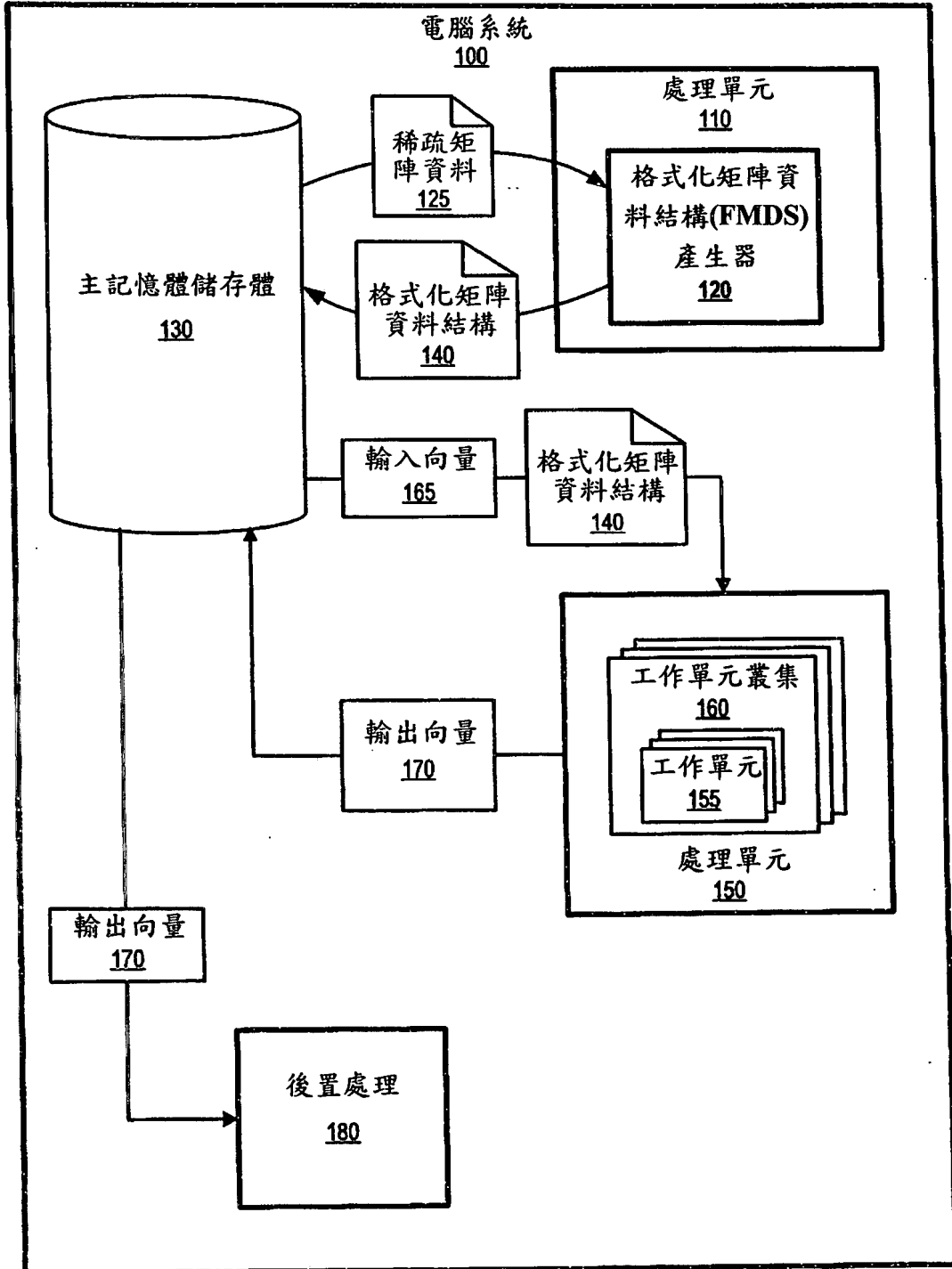


圖 1

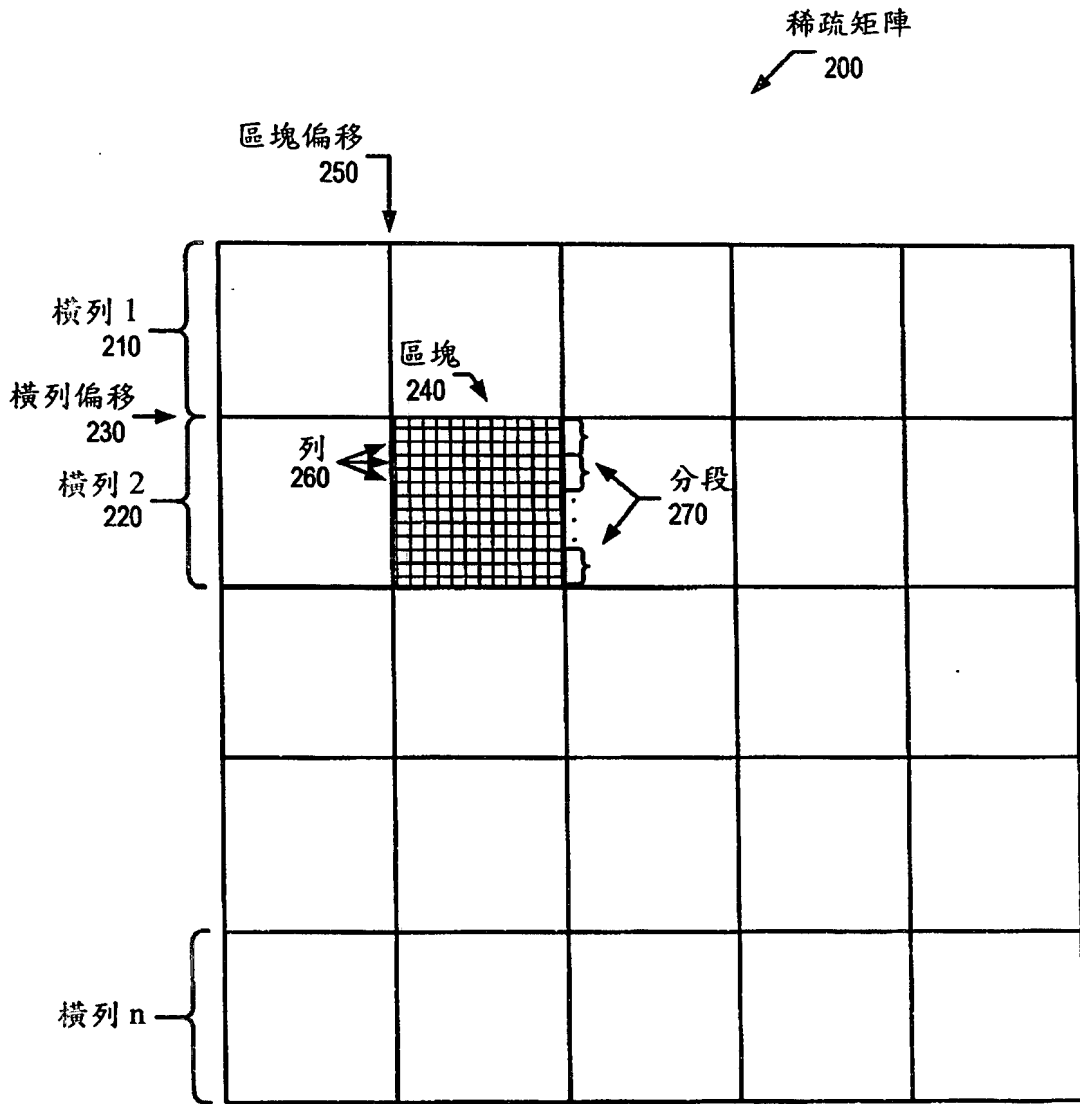


圖 2

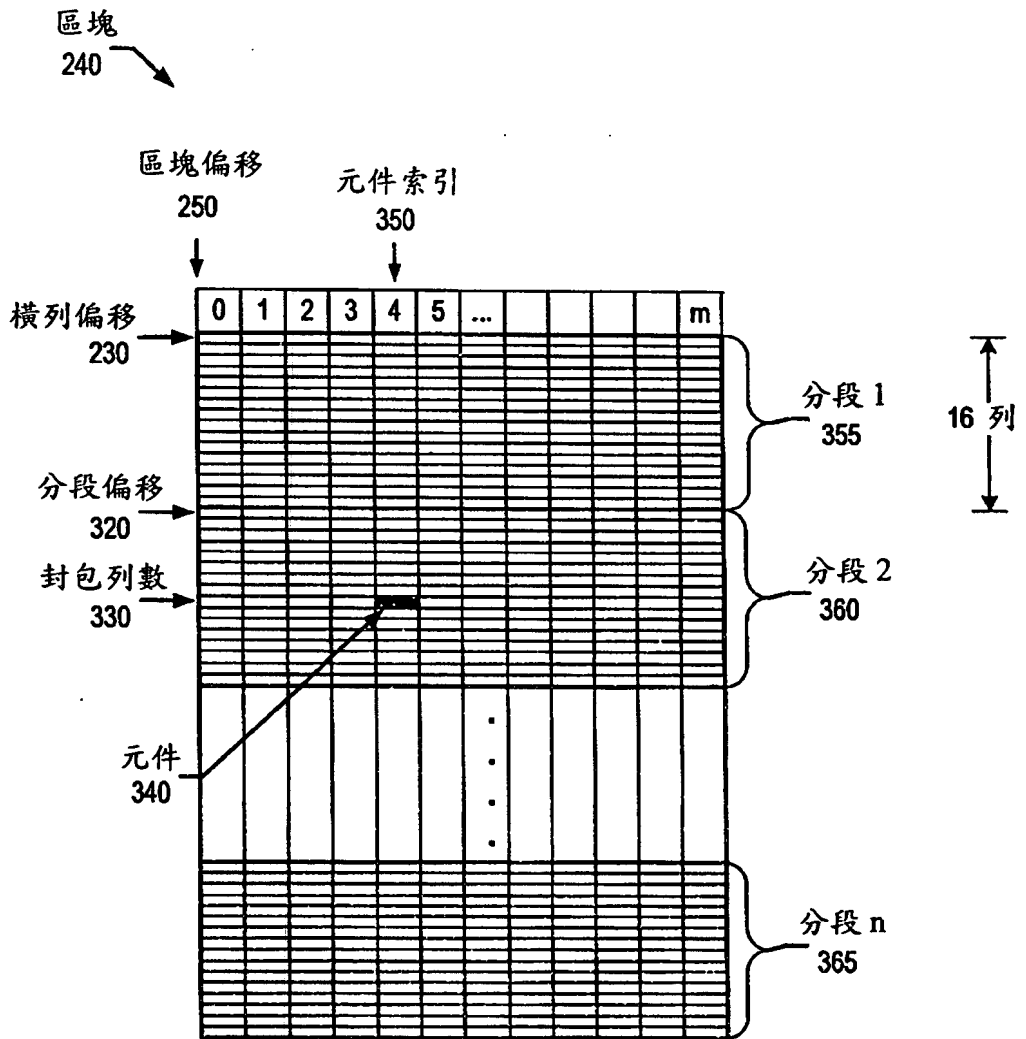


圖 3

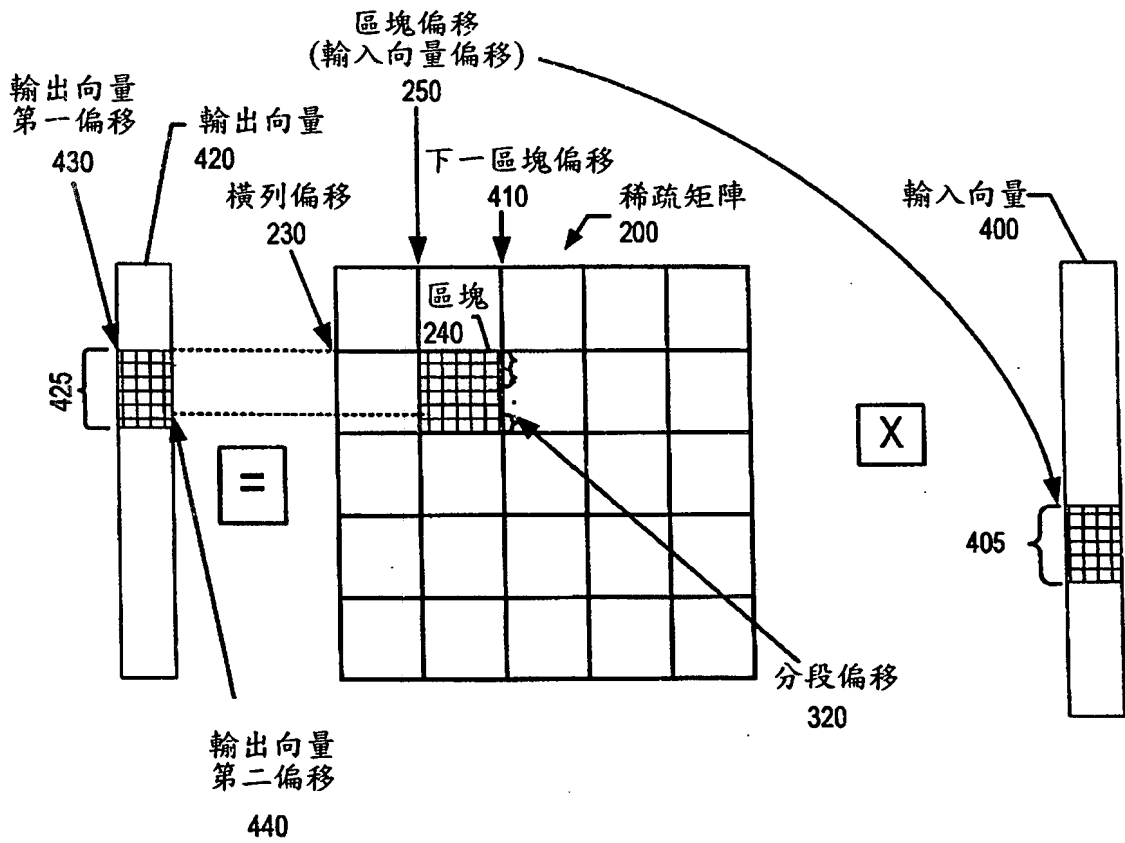


圖 4A

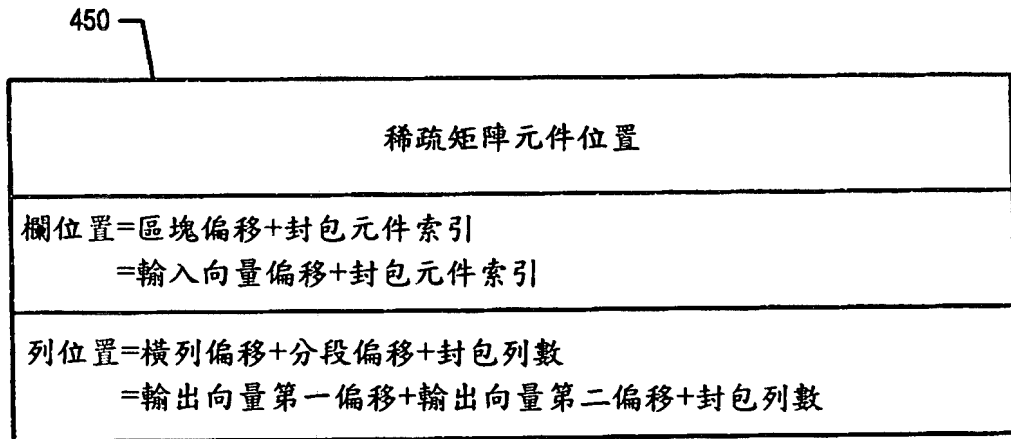


圖 4B

單精準封包  
500

表頭 510	區塊偏移 (輸入向量偏移) 540		下一區塊偏移 (下一輸入向量偏 移) 550		目前橫列的剩餘 封包 560		分段偏移 (輸出向量第二偏 移) 570	
	填補		填補		填補		填補	
索引欄位 520	列 0 E 索引	列 1 E 索引	列 2 E 索引	列 3 E 索引	列 4 E 索引	列 5 E 索引	列 6 E 索引	列 7 E 索引
	列 8 E 索引	列 9 E 索引	列 10 E 索引	列 11 E 索引	列 12 E 索引	列 13 E 索引	列 14 E 索引	列 15 E 索引
值欄位 530	列 0 元件值		列 1 元件值		列 2 元件值		列 3 元件值	
	列 4 元件值		列 5 元件值		列 6 元件值		列 7 元件值	
	列 8 元件值		列 9 元件值		列 10 元件值		列 11 元件值	
	列 12 元件值		列 13 元件值		列 14 元件值		列 15 元件值	

圖 5

倍精準封包  
600 ↘

表頭	610		區塊偏移 (輸入向量偏移)		下一區塊偏移 (下一輸入向量 偏移)		目前橫列的 剩餘封包		分段偏移 (輸出向量第二 偏移)	
			填補		填補		填補		填補	
索引欄位	620		列 0 E 索引	列 1 E 索引	列 2 E 索引	列 3 E 索引	列 4 E 索引	列 5 E 索引	列 6 E 索引	列 7 E 索引
			列 8 E 索引	列 9 E 索引	列 10 E 索引	列 11 E 索引	列 12 E 索引	列 13 E 索引	列 14 E 索引	列 15 E 索引
值欄位	630		列 0 元件值				列 1 元件值			
			列 2 元件值				列 3 元件值			
			列 4 元件值				列 5 元件值			
			列 6 元件值				列 7 元件值			
			列 8 元件值				列 9 元件值			
			列 10 元件值				列 11 元件值			
			列 12 元件值				列 13 元件值			
			列 14 元件值				列 15 元件值			

圖 6

格式化矩陣資料結構(FMDS)

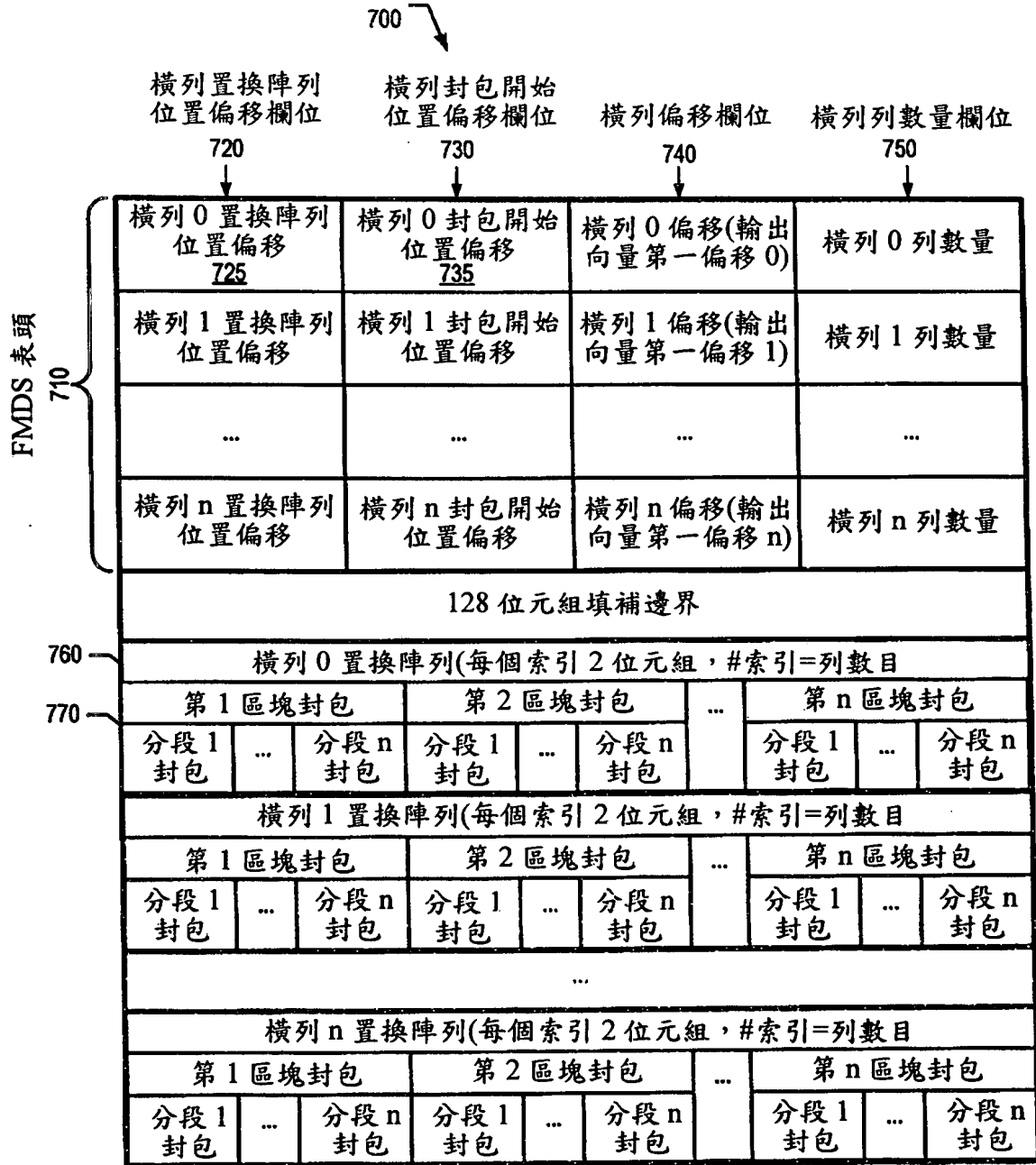


圖 7

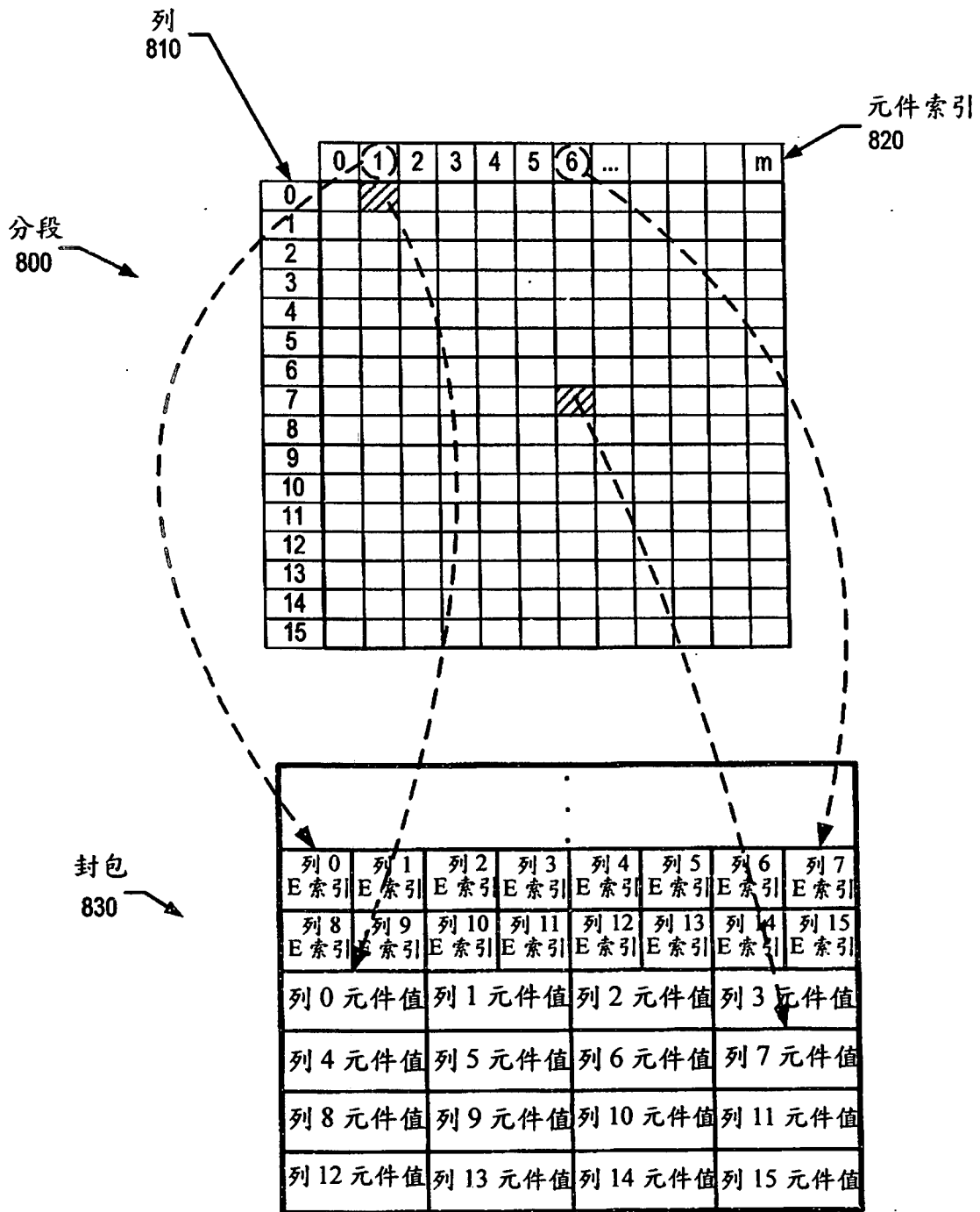


圖 8

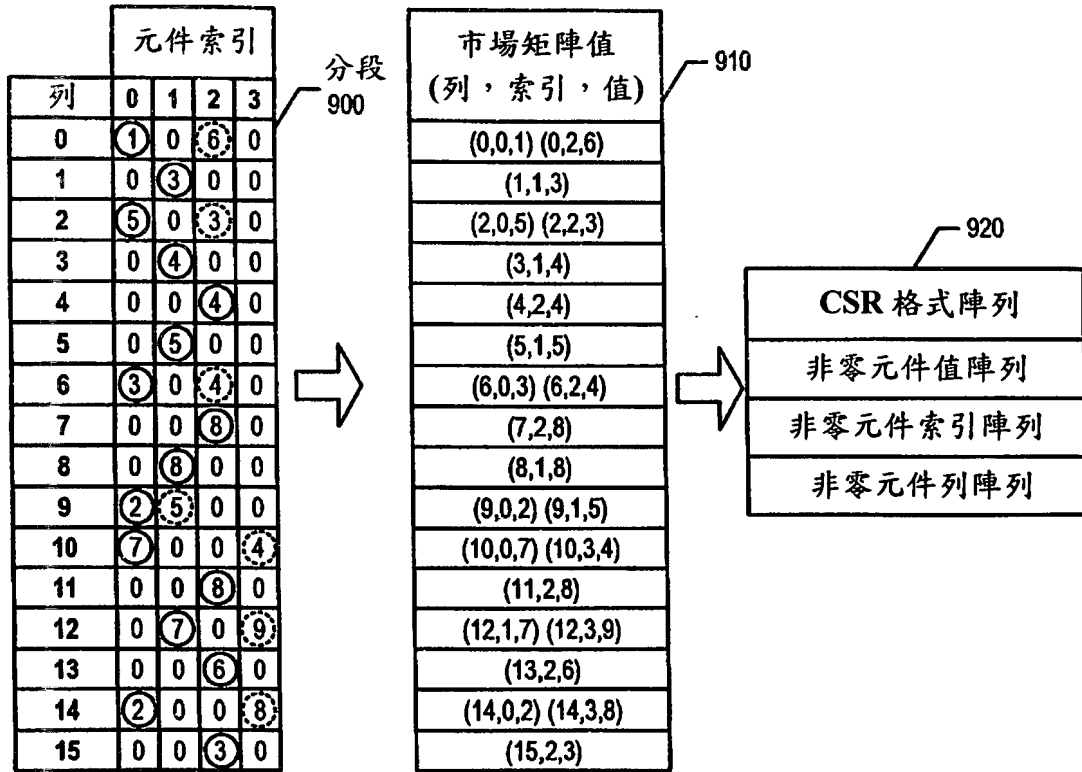


圖 9A

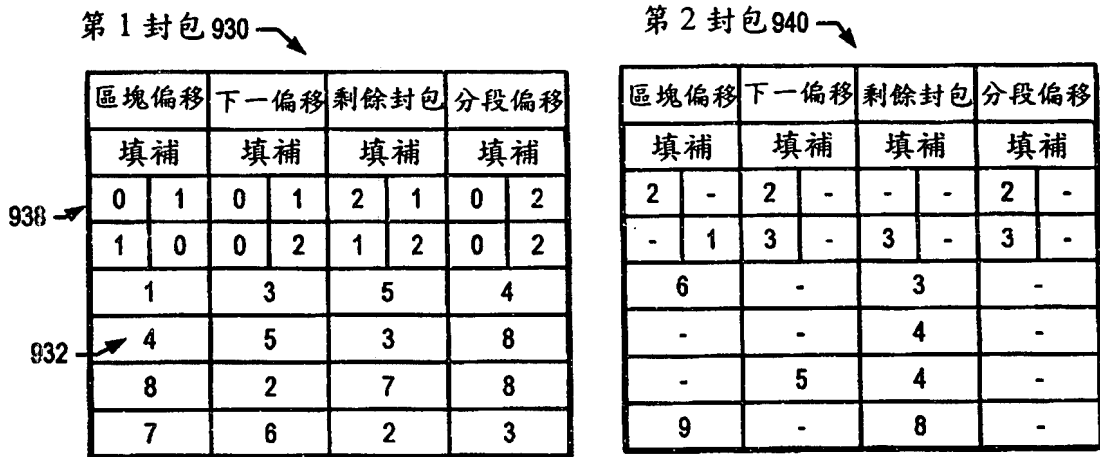


圖 9B

圖 9C

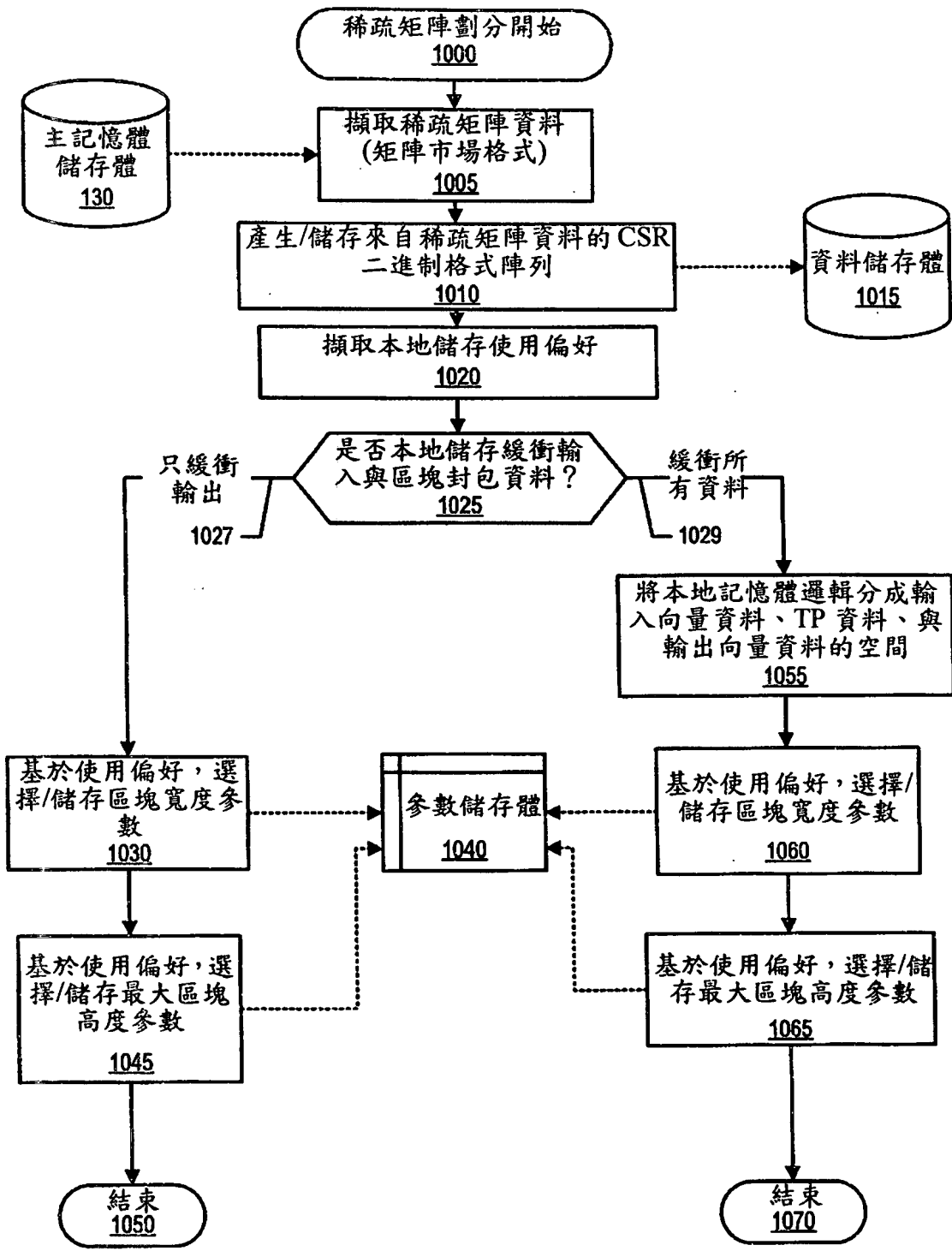


圖 10

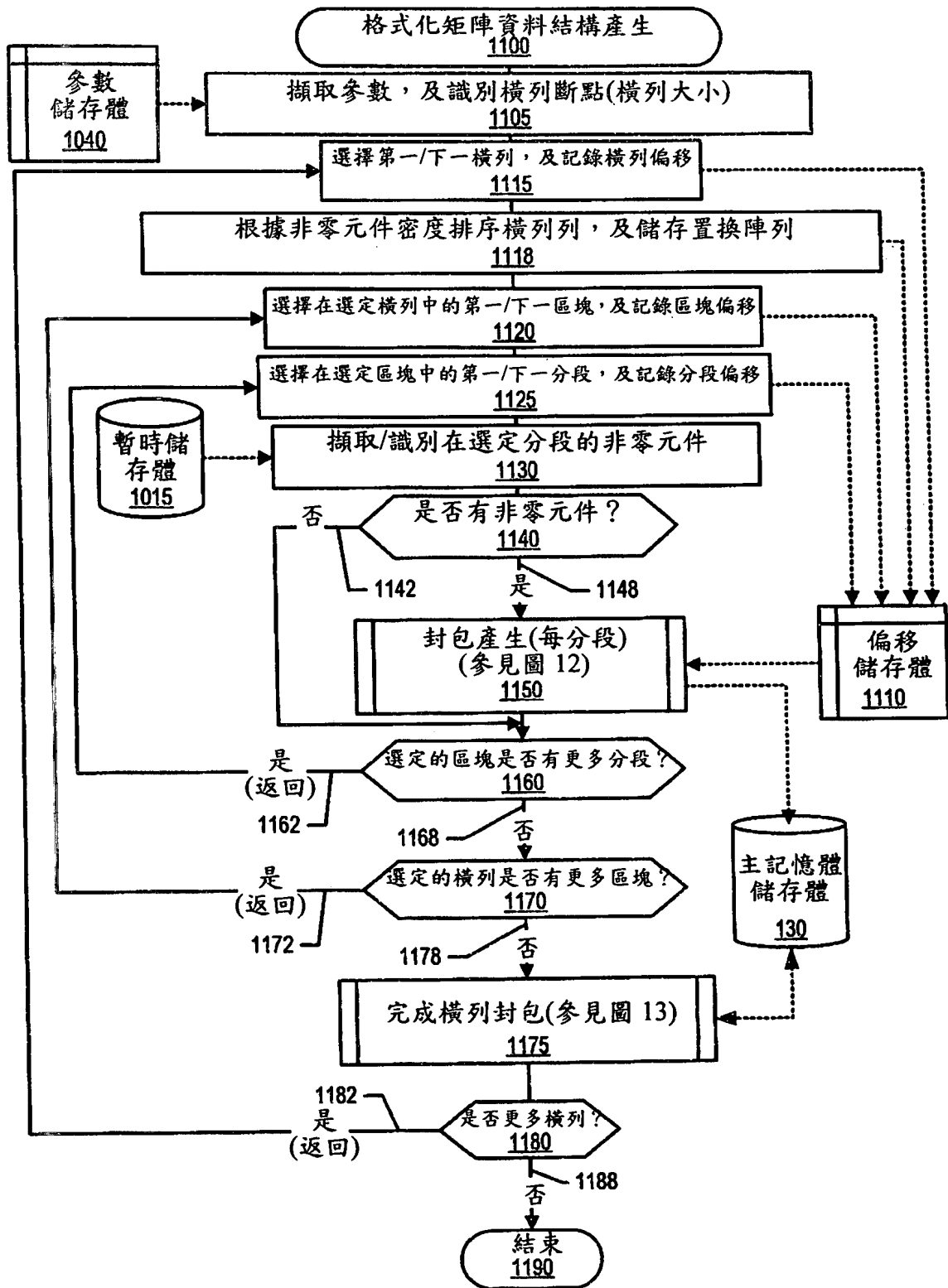


圖 11

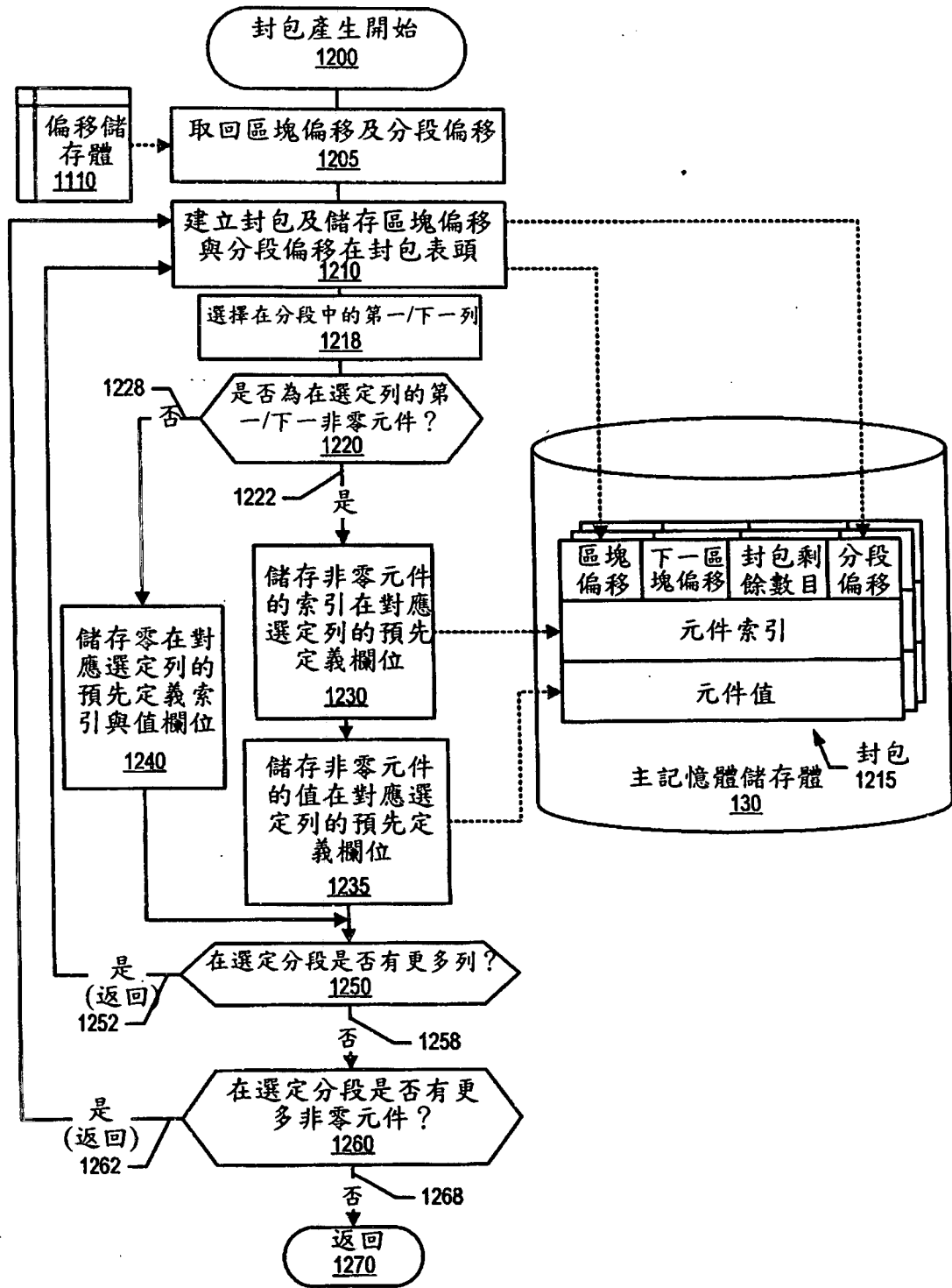


圖 12

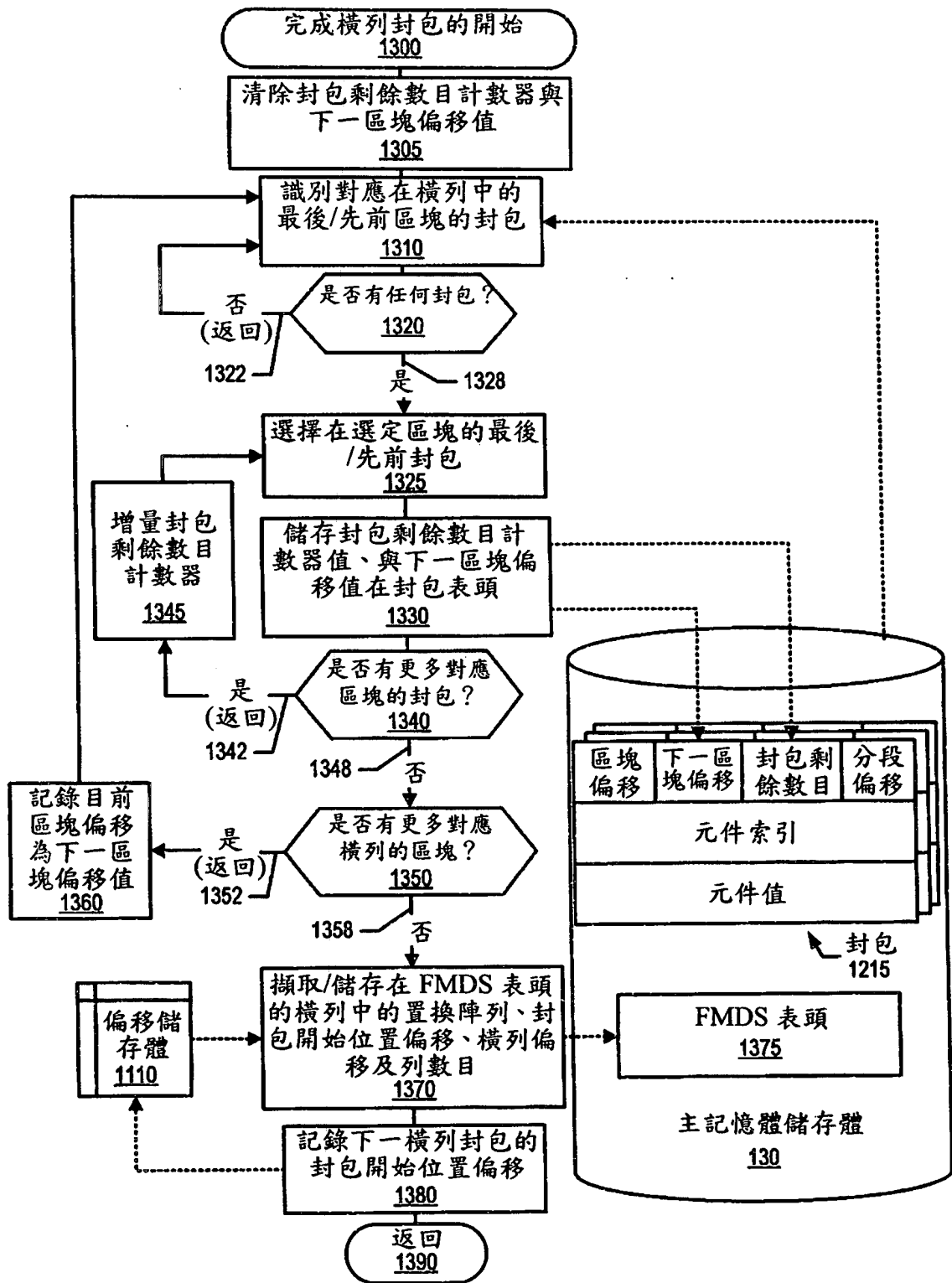


圖 13

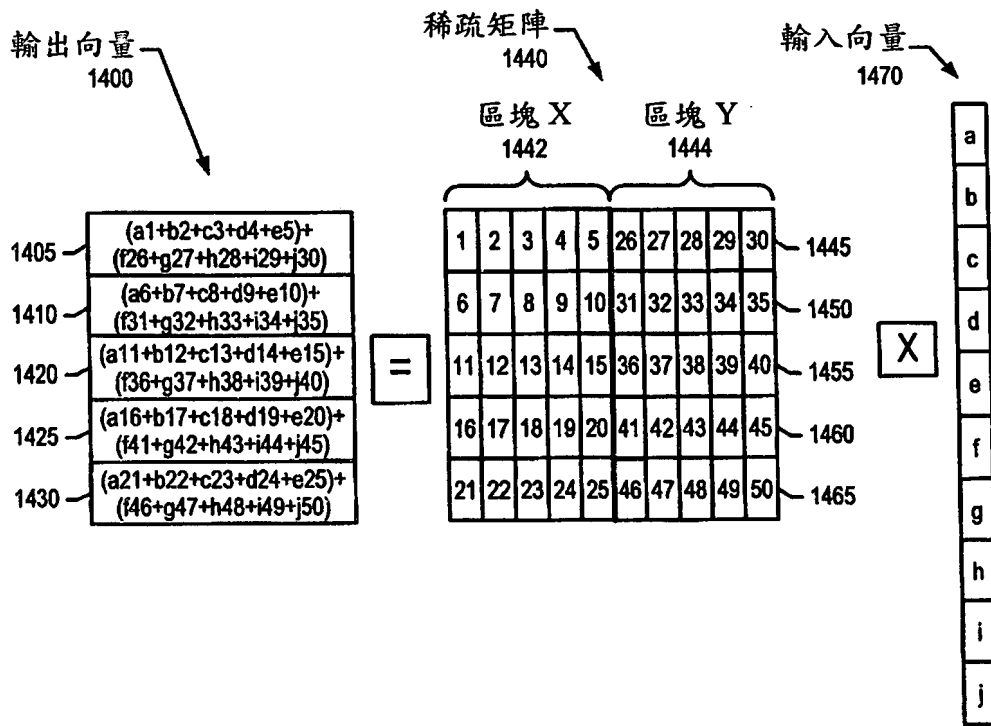


圖 14

封包  
500

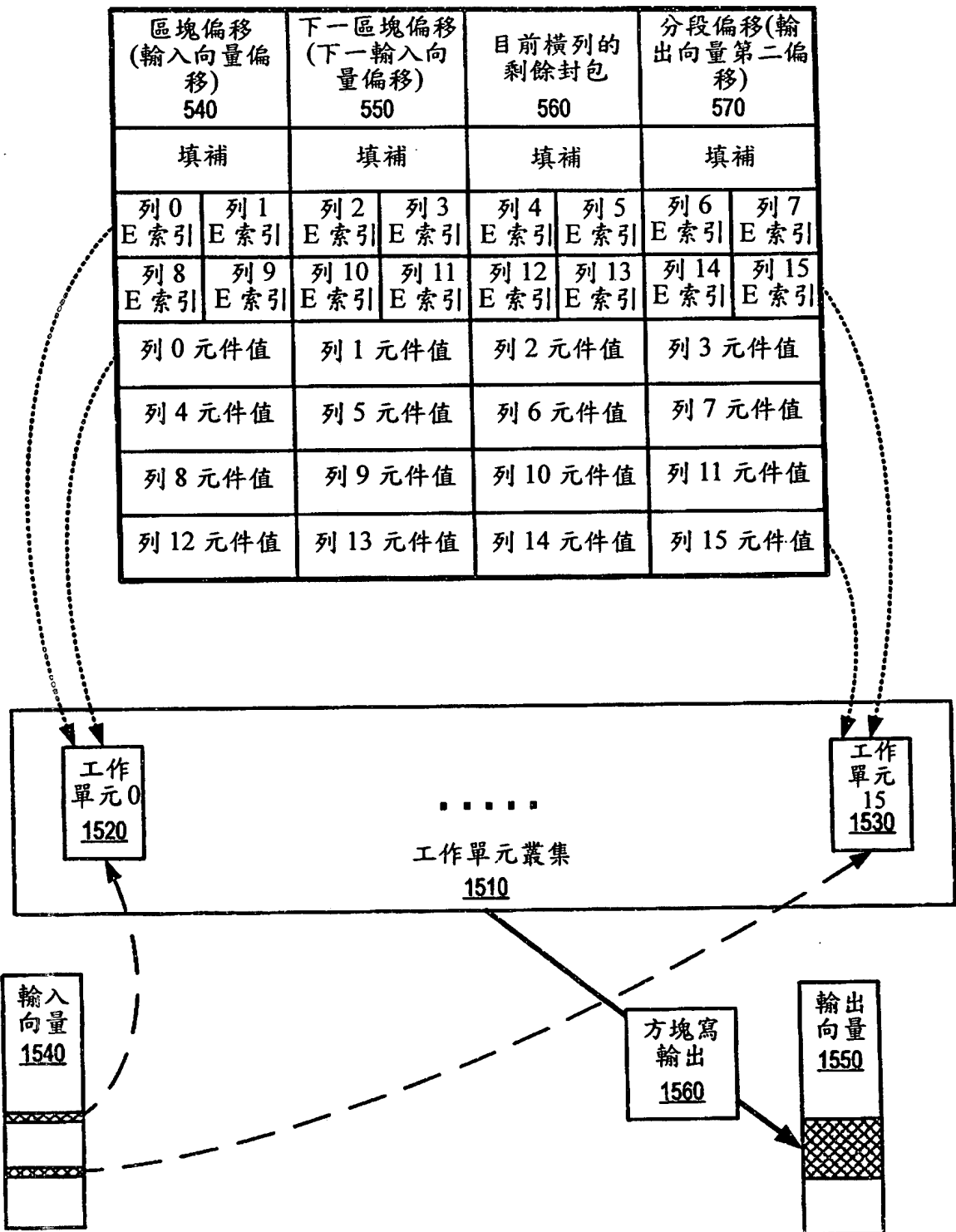


圖 15

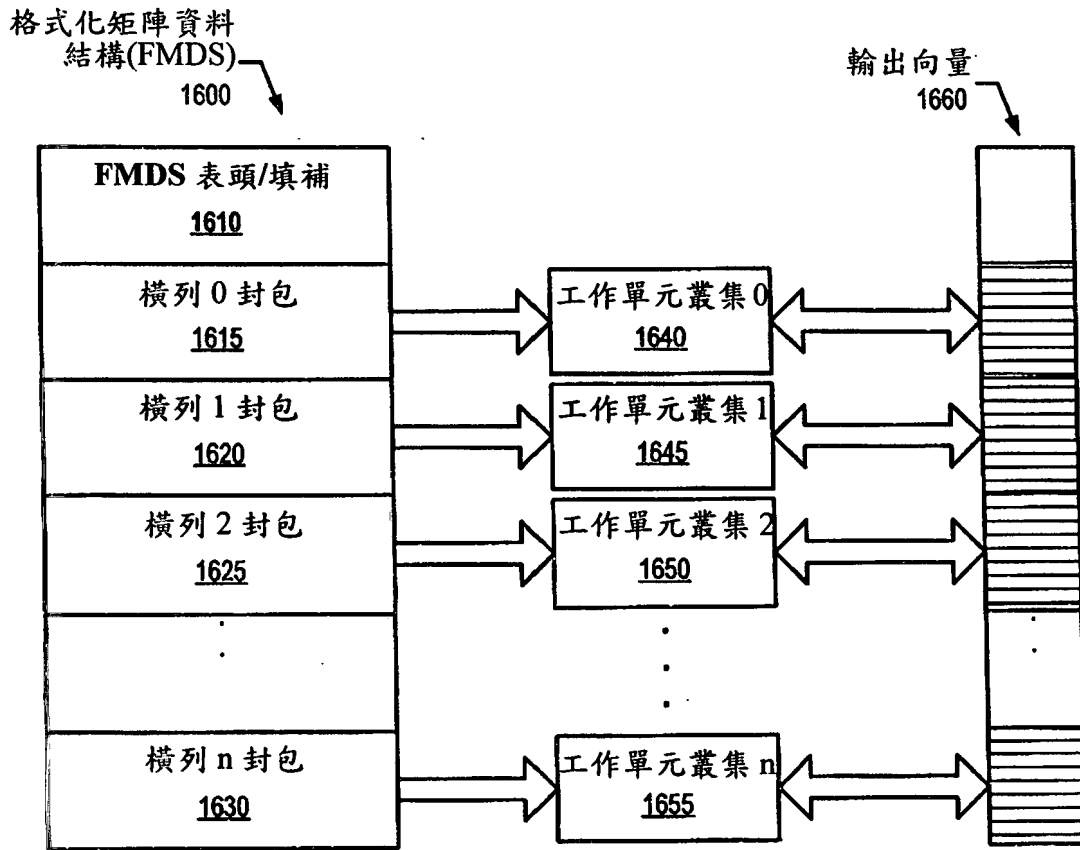


圖 16

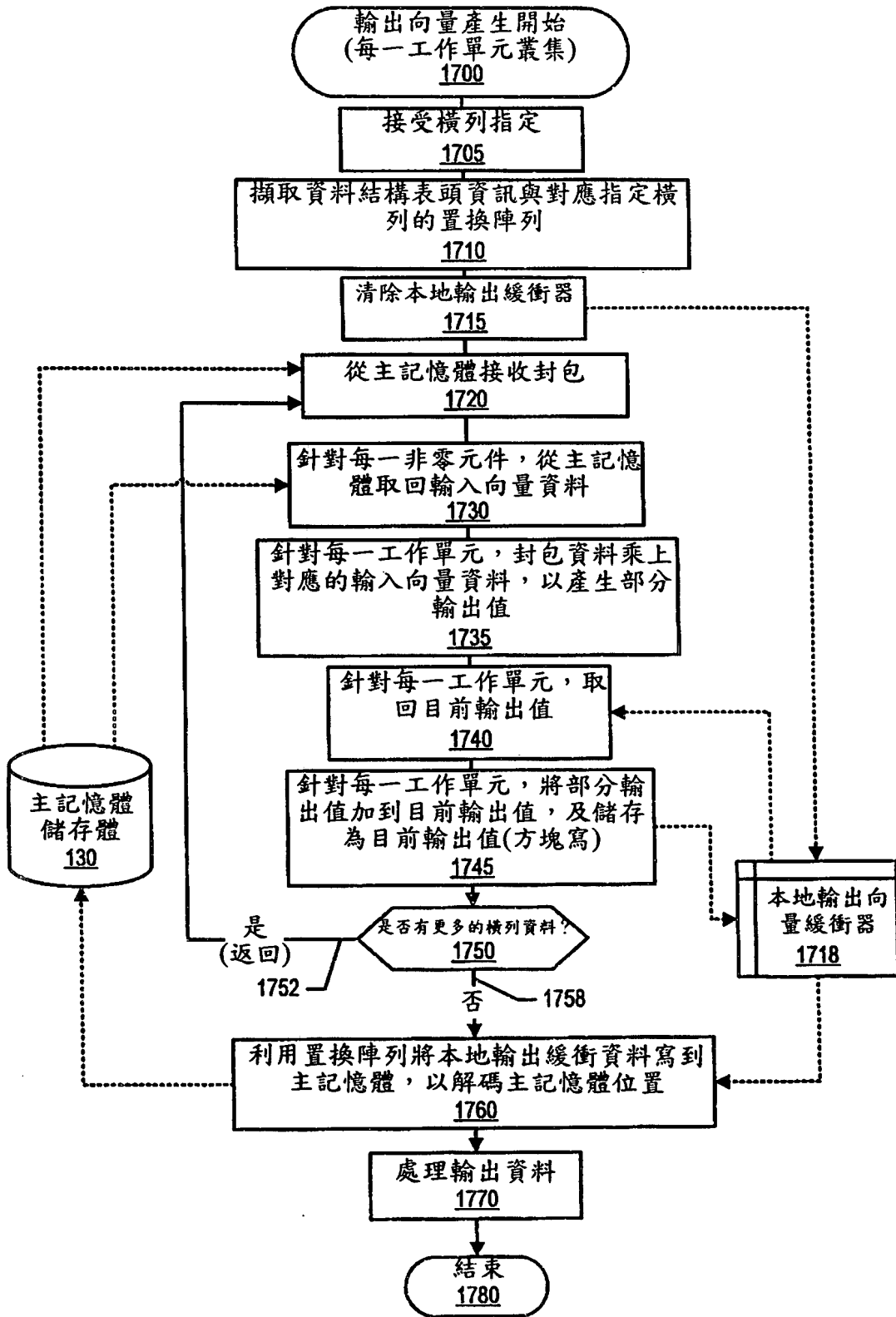


圖 17

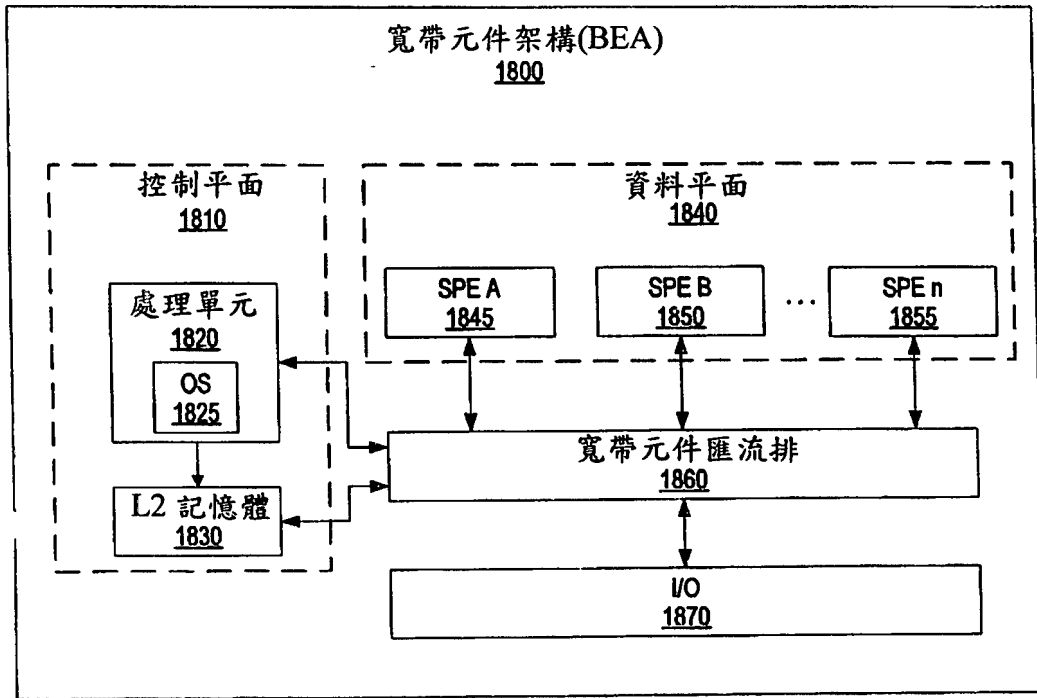


圖 18

資訊處理系統  
1900

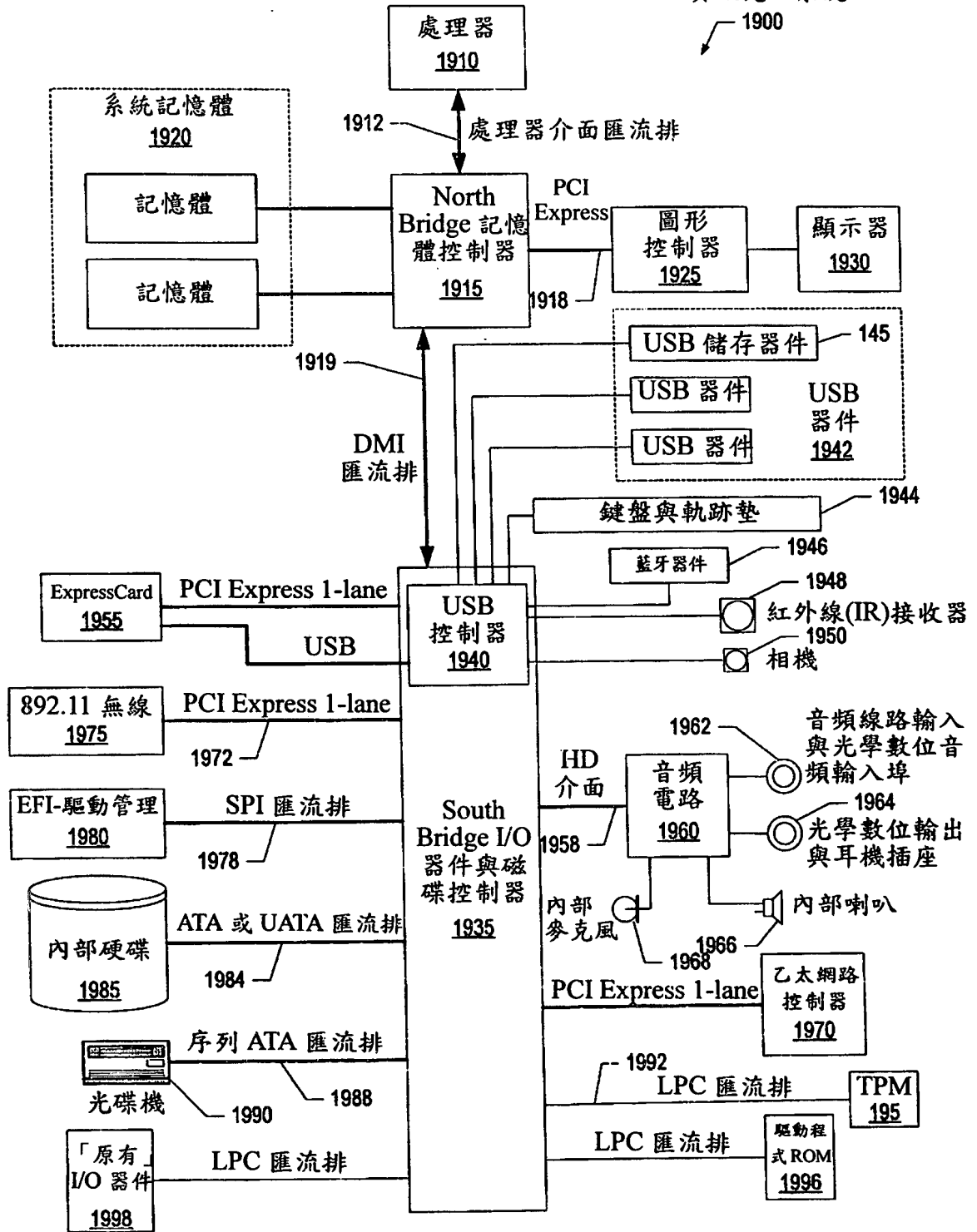


圖 19

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 1。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 100 電腦系統
- 110 處理單元
- 120 格式化矩陣資料結構(FMDS)產生器
- 125 稀疏矩陣資料
- 130 主記憶體儲存體
- 140 格式化矩陣資料結構
- 150 處理單元
- 155 工作單元
- 160 工作單元叢集
- 165 輸入向量
- 170 輸出向量
- 180 後置處理

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。