



(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 I718604 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：108126777

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 12 月 29 日

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

G06F17/14 (2006.01)

(30)優先權：2016/02/05 美國

15/016,420

(71)申請人：美商谷歌有限責任公司 (美國) GOOGLE LLC (US)

美國

(72)發明人：納拉亞那斯瓦密 拉非 NARAYANASWAMI, RAVI (IN) ; 納加拉簡 拉浩

NAGARAJAN, RAHUL (IN) ; 禹同燦 WOO, DONG HYUK (KR) ; 理瑞 克里斯

多福 丹尼爾 LEARY, CHRISTOPHER DANIEL (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

CN 103262068A

US 2013/0339506A1

US 2015/0067009A1

審查人員：李榮祥

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：5 共 46 頁

(54)名稱

用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統及方法，以及非暫時性機器可讀儲存裝置

(57)摘要

本發明揭示方法、系統及裝置，包含一種用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統。該系統經組態以：接收對基於稀疏元素之一輸出矩陣之一請求，該等稀疏元素包含與一第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與一第二密集矩陣相關聯之稀疏元素；獲得由一第一稀疏元素存取單元群組提取之與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；獲得由一第二稀疏元素存取單元群組提取之與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；且變換與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素以產生包含與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該輸出密集矩陣。

Methods, systems, and apparatus, including a system for transforming sparse elements to a dense matrix. The system is configured to receive a request for an output matrix based on sparse elements including sparse elements associated with a first dense matrix and sparse elements associated with a second dense matrix; obtain the sparse elements associated with the first dense matrix fetched by a first group of sparse element access units; obtain the sparse elements associated with the second dense matrix fetched by a second group of sparse element access units; and transform the sparse elements associated with the first dense matrix and the sparse elements associated with the second dense matrix to generate the output dense matrix that includes the sparse elements associated with the first dense matrix and the sparse elements associated with the second dense matrix.

指定代表圖：



符號簡單說明：

100:計算系統

102:處理單元

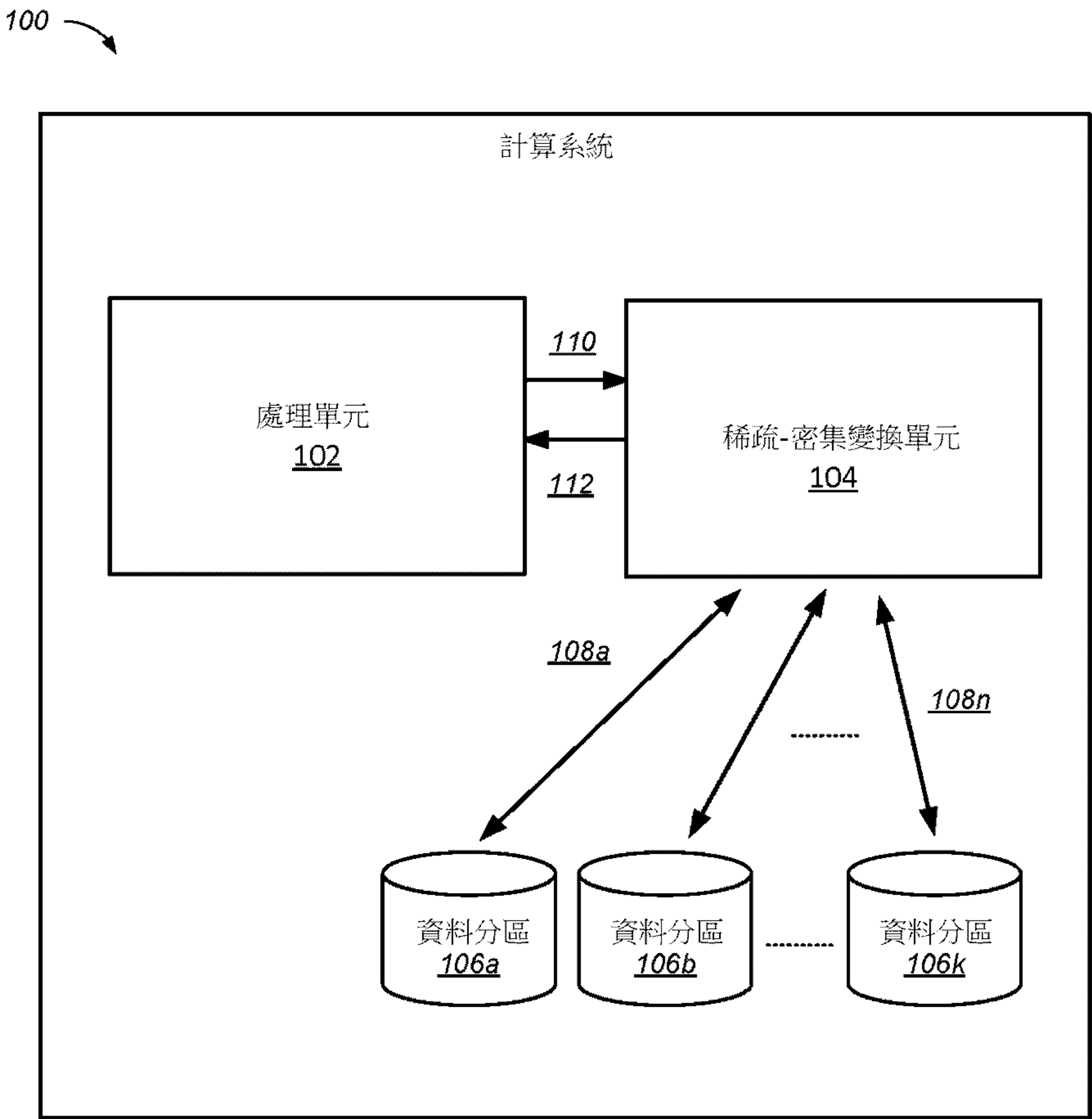
104:稀疏-密集變換單元

106a-106k:資料分區

108a-108n:稀疏元素

110:指令

112:目標密集矩陣



【圖1】





I718604

## 【發明摘要】

## 【中文發明名稱】

用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統及方法，以及非暫時性機器可讀儲存裝置

## 【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR TRANSFORMING SPARSE ELEMENTS INTO A DENSE MATRIX, AND NON-TRANSITORY MACHINE-READABLE STORAGE DEVICE

## 【中文】

本發明揭示方法、系統及裝置，包含一種用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統。該系統經組態以：接收對基於稀疏元素之一輸出矩陣之一請求，該等稀疏元素包含與一第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與一第二密集矩陣相關聯之稀疏元素；獲得由一第一稀疏元素存取單元群組提取之與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；獲得由一第二稀疏元素存取單元群組提取之與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；且變換與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素以產生包含與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該輸出密集矩陣。

## 【英文】

Methods, systems, and apparatus, including a system for transforming sparse elements to a dense matrix. The system is configured to receive a request for an output matrix based on sparse elements including sparse elements associated with a first dense matrix and sparse elements associated with a second dense matrix; obtain the sparse elements associated with the first dense matrix fetched by a first group of sparse element access units; obtain the sparse elements



associated with the second dense matrix fetched by a second group of sparse element access units; and transform the sparse elements associated with the first dense matrix and the sparse elements associated with the second dense matrix to generate the output dense matrix that includes the sparse elements associated with the first dense matrix and the sparse elements associated with the second dense matrix.

【指定代表圖】

圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

|           |           |
|-----------|-----------|
| 100       | 計算系統      |
| 102       | 處理單元      |
| 104       | 稀疏-密集變換單元 |
| 106a-106k | 資料分區      |
| 108a-108n | 稀疏元素      |
| 110       | 指令        |
| 112       | 目標密集矩陣    |



# 【發明說明書】

## 【中文發明名稱】

用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統及方法，以及非暫時性機器可讀儲存裝置

## 【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR TRANSFORMING SPARSE ELEMENTS INTO A DENSE MATRIX, AND NON-TRANSITORY MACHINE-READABLE STORAGE DEVICE

## 【技術領域】

## 【先前技術】

本說明書一般而言係關於使用電路來處理一矩陣。

## 【發明內容】

根據本說明書中所闡述之標的物之一項新穎態樣，一矩陣處理器可用於執行一稀疏至密集或一密集至稀疏矩陣變換。一般而言，高效能計算系統可使用線性代數常式來處理一矩陣。在某些例項中，矩陣之大小可太大而不能裝配在一個資料儲存器中，且矩陣之不同部分可稀疏地儲存於一分散式資料儲存系統之不同位置中。為載入矩陣，一計算系統之中央處理單元可指令一單獨電路存取矩陣之不同部分。該電路可包含根據一網路拓撲配置之多個記憶體控制器，其中可基於一預定規則集合而分割且儲存稀疏資料。每一記憶體控制器可基於該預定規則集合而聚集稀疏資料，以對稀疏資料執行同作計算，且產生可串連在一起以供中央處理單元執行進一步處理之一密集矩陣。

一般而言，本說明書中所闡述之標的物之一項新穎態樣可體現在用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之一系統中。該系統包含：一第一稀疏元素存取單元群組，其經組態以提取與一第一密集矩陣相關聯之稀疏元素；及一第二稀疏元素存取單元群組，其經組態以提取與不同於該第一密集矩



陣之一第二密集矩陣相關聯之稀疏元素。該系統經組態以：接收對基於稀疏元素之一輸出矩陣之一請求，該等稀疏元素包含與一第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與一第二密集矩陣相關聯之稀疏元素；獲得由該第一稀疏元素存取單元群組提取之與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；獲得由該第二稀疏元素存取單元群組提取之與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素；且變換與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素以產生包含與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該輸出密集矩陣。

此等及其他實施方案可各自視情況包含以下特徵中之一或多者。舉例而言，該第一稀疏元素存取單元群組可包含一第一稀疏元素存取單元及一第二稀疏元素存取單元。該第一稀疏元素存取單元可經組態以提取與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之一第一子集。該第二稀疏元素存取單元可經組態以提取與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之一第二不同子集。

該第一稀疏元素存取單元經組態以接收對包含與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之複數個稀疏元素之一請求；且將該請求傳輸至該第二稀疏元素存取單元。該第一稀疏元素存取單元可經組態以判定該複數個稀疏元素中之一特定稀疏元素之一身份和與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一子集中之一個稀疏元素之一身份匹配。該第一稀疏元素存取單元可經組態以回應於判定該複數個稀疏元素中之該特定稀疏元素之該身份和與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一子集中之一個稀疏元素之該身份匹配而提取包含該特定稀疏元素之與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一



子集。

該第一稀疏元素存取單元可經組態以自一第一資料分區提取與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一子集，且該第二稀疏元素存取單元可經組態以自一第二不同資料分區提取與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第二不同子集。該第一稀疏元素存取單元可經組態以變換與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一子集以產生一第三密集矩陣，且該第二稀疏元素存取單元可經組態以接收該第三密集矩陣；變換與該第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第二子集以產生一第四密集矩陣；及變換該第三密集矩陣與該第四密集矩陣以產生包含與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第一子集及與該第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素之該第二子集之一第五密集矩陣。

該第一稀疏元素存取單元群組及該第二稀疏元素存取單元群組可配置成一個二維網狀組態。該第一稀疏元素存取單元群組及該第二稀疏元素存取單元群組可配置成一個二維環面組態。與第一密集矩陣相關聯之該等稀疏元素及與第二密集矩陣相關聯之該等稀疏元素可係多維矩陣，且該輸出密集矩陣可係一向量。

本說明書中闡述之標的物可在特定實施例中經實施以便實現以下優點中之一或多者。根據一網路拓撲連接記憶體控制器單元允許遵循一預定規則集合而分割稀疏資料之儲存。將稀疏至密集資料載入任務自中央處理單元轉移至一單獨電路增加中央處理單元之計算頻寬且降低系統之處理成本。藉由使用專用電路，可避免使用專用於密集線性代數之處理器來提取稀疏資料。藉由在分散式系統中同時使用多個記憶體，分散式系統中可用之總和彙總頻寬高於需要串列化且關於彙總頻寬具有一單記憶體容量之一



單個記憶體組之頻寬。

此態樣及其他態樣之其他實施方案包含對應系統、裝置及編碼於電腦儲存器件上之經組態以執行方法之動作之電腦程式。一或多個電腦之一系統可藉助於安裝於系統上之在操作中致使系統執行動作之軟體、韌體、硬體或其一組合而如此組態。一或多個電腦程式可藉助於具有在由資料處理裝置執行時致使該裝置執行動作之指令而如此組態。

附圖及下文的說明中陳述本說明書中所闡述之標的物之一或多個實施方案之細節。根據說明、圖式及申請專利範圍將明瞭標的物之其他可能特徵、態樣及優點。

#### 【圖式簡單說明】

圖1係一實例性計算系統之一方塊圖。

圖2A至圖2D圖解說明一實例性稀疏-密集變換單元。

圖3A至圖3B圖解說明一實例性稀疏元素存取單元。

圖4係圖解說明用於產生一密集矩陣之一程序之一實例之一流程圖。

圖5係圖解說明用於將稀疏元素變換成一密集矩陣之一程序之一實例之一流程圖。

在各個圖式中，相似元件符號及名稱指示相似元件。

#### 【實施方式】

一般而言，資料可以一矩陣之形式來表示且一計算系統可使用線性代數演算法操縱該資料。一矩陣可係一個一維向量或一個多維矩陣。一矩陣可由諸如一資料庫表格或一變數之一資料結構表示。然而，當一矩陣之大小太大時，將整個矩陣儲存於一個資料儲存器中可係不可能的。一密集矩陣可變換成多個稀疏元素，其中每一稀疏元素可儲存於一不同資料儲存



器中。一密集矩陣之一稀疏元素可係一矩陣，其中該矩陣之僅一小子矩陣(例如，一單值元素、一列、一行或一子矩陣)具有非零值。當一計算系統需要存取該密集矩陣時，中央處理單元(CPU)可開始到達該資料儲存器之每一者以提取所儲存稀疏元素之一執行緒，且應用一稀疏-密集變換以恢復該密集矩陣。然而，提取所有稀疏元素花費之時間量可係長的，且結果表明，CPU之計算頻寬可係未充分利用的。在某些情形中，一計算系統可需要存取數個密集矩陣之稀疏元素以形成一新密集矩陣，其中該等密集矩陣可不具有相等尺寸。與到達資料儲存器之每一者以提取不同密集矩陣之稀疏元素之一執行緒相關聯之CPU閒置時間可遭遇不同等待時間，且可以一不合意方式進一步影響計算器件之效能。在某些情形中，一計算系統可需要存取數個密集矩陣之稀疏元素以形成一新密集矩陣，其中該等稀疏元素可不具有相等尺寸。與到達資料儲存器之每一者以提取不同密集矩陣之稀疏元素之一執行緒相關聯之CPU閒置時間可遭遇不同等待時間，且可以一不合意方式進一步影響計算器件之效能。與一CPU分開之一硬體稀疏-密集變換單元可藉由收集稀疏元素且獨立於CPU操作而將該等稀疏元素變換成一密集矩陣來增加處理器之計算頻寬。

圖1展示用於變換來自一或多個密集矩陣之稀疏元素以產生一密集矩陣之一實例性計算系統100之一方塊圖。計算系統100包含一處理單元102、一稀疏-密集變換單元104及資料分區106a至106k，其中 $k$ 係大於1之一整數。一般而言，處理單元102處理用於存取一目標密集矩陣之一指令，且將一指令110發送至稀疏-密集變換單元104以產生該目標密集矩陣。稀疏-密集變換單元104自資料分區106a至106k中之一或多者存取對應稀疏元素108a至108n，其中 $n$ 係大於1之一整數。稀疏-密集變換單元



104使用對應稀疏元素108a至108n產生目標密集矩陣112，且將目標密集矩陣112提供至處理單元102以用於進一步處理。舉例而言，稀疏元素108a至108n可係具有不同大小之二維矩陣，且稀疏-密集變換單元104可藉由將稀疏元素108a至108n中之每一者變換成一向量且將 $n$ 個向量串連成一單個向量而產生目標密集矩陣112。

在某些實施方案中，處理單元102可處理用於更新一目標密集矩陣之一指令且將一經更新密集矩陣發送至稀疏-密集變換單元104。稀疏-密集變換單元104可將該經更新密集矩陣變換成對應稀疏元素且相應地更新儲存於資料分區106a至106k中之一或多個稀疏元素。

處理單元102經組態以處理用於在計算系統100內執行之指令。處理單元102可包含一或多個處理器。在某些實施方案中，處理單元102經組態以處理由稀疏-密集變換單元104產生之目標密集矩陣112。在某些其他實施方案中，處理單元102可經組態以請求稀疏-密集變換單元104產生目標密集矩陣112，且另一處理單元可經組態以處理目標密集矩陣112。資料分區106a至106k儲存包含稀疏元素108a至108n之資料。在某些實施方案中，資料分區106a至106k可係一或若干揮發性記憶體單元。在某些其他實施方案中，資料分區106a至106k可係一或若干非揮發性記憶體單元。資料分區106a至106k亦可係另一形式之電腦可讀媒體，諸如一儲存區域網路中之器件或其他組態。資料分區106a至106k可使用電連接、光學連接或無線連接耦合至稀疏-密集變換單元104。在某些實施方案中，資料分區106a至106k可係稀疏-密集變換單元104之部分。

稀疏-密集變換單元104經組態以基於稀疏元素而判定一密集矩陣。在某些實施方案中，稀疏-密集變換單元104可經組態以基於一密集矩陣而



判定稀疏元素之位置。在某些實施方案中，稀疏-密集變換單元104可包含多個互連之稀疏元素存取單元，如下文參考圖2A至圖2D更詳細地闡述。

圖2A展示一實例性稀疏-密集變換單元200。稀疏-密集變換單元200可對應於稀疏-密集變換單元104。稀疏-密集變換單元200包含實體地或邏輯地配置成 $M$ 列及 $N$ 行之 $M \times N$ 個稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ ，其中 $M$ 及 $N$ 係等於或大於1之整數。在某些實施方案中，稀疏-密集變換單元200可包含經組態以處理資料之額外電路。一般而言，稀疏-密集變換單元200經組態以接收對一密集矩陣之一請求，且基於可由稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ 存取之對應稀疏元素而判定一密集矩陣。一般而言，每一稀疏元素存取單元經組態以存取一指定稀疏元素集合，且在下文參考圖3A至圖3B更詳細地闡述。在某些實施方案中，一稀疏元素存取單元可係一單指令多資料(SIMD)處理器件。

在某些實施方案中，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ 可實體地或邏輯地配置成一個二維網狀組態。舉例而言，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 直接耦合至稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 及 $X_{2,1}$ 。作為另一實例，稀疏元素存取單元 $X_{2,2}$ 直接耦合至稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 、 $X_{3,1}$ 、 $X_{2,3}$ 及 $X_{1,2}$ 。兩個稀疏元素存取單元之間的耦合可係一電連接、一光學連接、一無線連接或任一其他適合連接。

在某些其他實施方案中，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ 可實體地或邏輯地配置成一個二維環面組態。舉例而言，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 直接耦合至稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 、 $X_{2,1}$ 、 $X_{1,N}$ 及 $X_{M,1}$ 。作為另一實例，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 直接耦合至稀疏元素存取單元 $X_{M,N-1}$ 、 $X_{M-1,N}$ 、 $X_{M,1}$ 及 $X_{1,N}$ 。

在某些實施方案中，稀疏-密集變換單元200可經組態以根據一預定



條件集合分割自密集矩陣變換之稀疏元素。稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 至 $X_{M,N}$ 之每一列可經分割以存取自特定密集矩陣變換之稀疏元素。舉例而言，稀疏-密集變換單元200可經組態以存取自對應於一電腦模型之1,000個不同資料庫表格之密集矩陣變換之稀疏元素。該等資料庫表格中之一或多者可具有不同大小。稀疏元素存取單元之第一列202可經組態以存取自1號資料庫表格至100號資料庫表格變換之稀疏元素，稀疏元素存取單元之第二列204可經組態以存取自101號資料庫表格至300號資料庫表格變換之稀疏元素，且稀疏元素存取單元之第M列206可經組態以存取自751號資料庫表格至1,000號資料庫表格變換之稀疏元素。在某些實施方案中，可在一處理器使用稀疏-密集變換單元200存取稀疏元素之前藉由硬體指令組態分割。

稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 至 $X_{M,N}$ 之每一行可經分割以存取自特定密集矩陣變換之稀疏元素之一子集。舉例而言，對應於1號資料庫表格之密集矩陣可變換成1,000個稀疏元素，其中該1,000個稀疏元素可由第一列202存取，如上文所闡述。稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 可經組態以存取1號資料庫表格之1號至200號稀疏元素，且稀疏元素存取單元 $X_{I,2}$ 可經組態以存取1號資料庫表格之201號至500號稀疏元素。作為另一實例，對應於2號資料庫表格之密集矩陣可變換成500個稀疏元素，其中該500稀疏元素可由第一列202存取，如上文所闡述。稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 可經組態以存取2號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，且稀疏元素存取單元 $X_{I,2}$ 可經組態以存取2號資料庫表格之51號至200號稀疏元素。作為另一實例，對應於1,000號資料庫表格之密集矩陣可變換成10,000個稀疏元素，其中該10,000個稀疏元素可由第M列206存取，如上文所闡述。稀疏元素存取單元 $X_{M,1}$ 可經



組態以存取1,000號資料庫表格之1號至2,000號稀疏元素，且稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 可經組態以存取1,000號資料庫表格之9,000號至10,000號稀疏元素。

圖2B展示稀疏-密集變換單元200可如何使用稀疏元素存取單元之一個二維網狀網路請求稀疏元素之一實例。作為一實例，一處理單元可執行向稀疏-密集變換單元200請求如下內容之一指令：使用1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素、2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素及1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素產生之一密集一維向量。在稀疏-密集變換單元200接收來自處理單元之請求之後，稀疏-密集變換單元200可指令稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 將對稀疏元素之一請求廣播至網狀網路中之其他稀疏元素存取單元。稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可將一請求222廣播至稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 且將一請求224廣播至稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 。在接收請求222之後，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可將一請求226廣播至稀疏元素存取單元 $X_{1,3}$ 。在某些實施方案中，一稀疏元素存取單元可經組態以基於一路由方案而將一請求廣播至另一稀疏元素存取單元。舉例而言，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可不經組態以將一請求廣播至稀疏元素存取單元 $X_{2,2}$ ，此乃因稀疏元素存取單元 $X_{2,2}$ 經組態以接收來自稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 之一廣播。該路由方案可係靜態的或動態產生的。舉例而言，該路由方案可係一查找表。在某些實施方案中，一稀疏元素存取單元可經組態以基於請求224而將請求224廣播至另一稀疏元素存取單元。舉例而言，請求224可包含所請求稀疏元素(例如，1號資料庫表格，1號至50號稀疏元素)之識別，且稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可基於該等識別而判定是否將請求224廣播至稀疏元素存取單元 $X_{2,2}$ 及/或稀疏元素存取單元 $X_{1,3}$ 。廣播程序透過網狀網路



傳播，其中稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 自稀疏元素存取單元 $X_{M,N-1}$ 接收一請求230。

圖2C展示稀疏-密集變換單元200可如何使用稀疏元素存取單元之二維網狀網路產生所請求密集矩陣之一實例。在某些實施方案中，在一稀疏元素存取單元接收所廣播請求之後，稀疏元素存取單元經組態以判定其是否經組態以存取所請求稀疏元素中之任一者。舉例而言，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可判定其經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，但其不經組態以存取2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素或1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素。回應於判定其經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，且基於此等稀疏元素而產生一密集矩陣242。

作為另一實例，稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 可判定其不經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素、2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素或1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素中之任一者。回應於判定其不經組態以存取所請求稀疏元素中之任一者，稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 可不執行任何進一步動作。

作為另一實例，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可判定其經組態以存取2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素，但其不經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素或1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素。回應於判定其經組態以存取2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取此等稀疏元素，且基於此等稀疏元素而產生一密集矩陣244。在某些實施



方案中，在一稀疏元素存取單元產生一密集矩陣之後，該稀疏元素存取單元可經組態以將該密集矩陣轉發至廣播請求之發送者。在此處，稀疏元素存取單元 $X_{I,2}$ 將密集矩陣244轉發至稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 。

作為另一實例，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 可判定其經組態以存取1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素，但其不經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素或2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素。回應於判定其經組態以存取1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取此等稀疏元素，且基於此等稀疏元素而產生一密集矩陣246。在某些實施方案中，在一稀疏元素存取單元產生一密集矩陣之後，該稀疏元素存取單元可經組態以將該密集矩陣轉發至廣播請求之發送者。在此處，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 將密集矩陣246轉發至稀疏元素存取單元 $X_{M,N-1}$ 。在下一循環中，稀疏元素存取單元 $X_{M,N-1}$ 經組態以將密集矩陣246轉發至稀疏元素存取單元 $X_{M,N-2}$ 。此程序繼續直至稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 已將密集矩陣246轉發至稀疏元素存取單元 $X_{I,1}$ 為止。

在某些實施方案中，稀疏-密集變換單元200經組態以變換由稀疏元素存取單元產生之密集矩陣且產生用於處理器單元之一密集矩陣。在此處，稀疏-密集變換單元200將密集矩陣242、244及246變換成用於處理器單元之一密集矩陣。舉例而言，密集矩陣242可具有 $100 \times 10$ 之尺寸，密集矩陣244可具有 $20 \times 100$ 之尺寸，且密集矩陣246可具有 $3 \times 3$ 之尺寸。稀疏-密集變換單元200可將密集矩陣242、244及246變換成具有 $1 \times 3009$ 之尺寸之一向量。有利地，根據密集矩陣(例如，資料庫表格)分割列允許稀疏-密集變換單元200在所產生密集矩陣已自行 $N$ 傳播至行1之後獲得所有所請



求稀疏元素。行之分割減少由使用稀疏元素存取單元中之僅一者存取太多稀疏元素導致之頻寬瓶頸。

圖2D展示稀疏-密集變換單元200可如何使用稀疏元素存取單元之一個二維網狀網路基於一密集矩陣而更新稀疏元素之一實例。作為一實例，一處理單元可執行請求稀疏-密集變換單元200使用一密集一維向量更新所儲存稀疏元素之一指令，該密集一維向量使用1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素及1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素來產生。在稀疏-密集變換單元200自處理單元接收請求之後，稀疏-密集變換單元200可指令稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 將一稀疏元素更新請求廣播至網狀網路中之其他稀疏元素存取單元，其中該稀疏元素更新請求可包含由處理單元提供之密集一維向量。在某些實施方案中，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可判定其是否經指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素。回應於判定其經指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可更新儲存於資料分區中之稀疏元素。在此處，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 判定其經指派以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，且稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 執行更新資料分區中之此等稀疏元素之一指令。

稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可將一稀疏元素更新請求252廣播至稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 且將一稀疏元素更新請求254廣播至稀疏元素存取單元 $X_{2,1}$ 。在接收稀疏元素更新請求252之後，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可判定其未經指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素。稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 將一請求256廣播至稀疏元素存取單元 $X_{1,3}$ 。廣播程序透過網狀網路傳播，其中稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 自稀疏元素存取單元 $X_{M,N-1}$ 接收一請求260。在此處，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 判定其經指派以存取1,000號資料庫表格



之9,050號至9,060號稀疏元素，且稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 執行用以更新資料分區中之此等稀疏元素之一指令。

圖3A展示一實例性稀疏元素存取單元300。稀疏元素存取單元300可係稀疏元素存取單元 $X_{I,I}$ 至 $X_{M,N}$ 中之任一者。一般而言，稀疏元素存取單元300經組態以自節點網路320接收提取儲存於一或多個資料分區中之稀疏元素且將所提取稀疏元素變換成一密集矩陣之一請求342。在某些實施方案中，一處理單元316將對使用稀疏元素產生之一密集矩陣之一請求發送至節點網路320中之一稀疏元素存取單元。該稀疏元素存取單元可將請求342廣播至稀疏元素存取單元300。廣播請求342之路由可類似於圖2B中之說明。稀疏元素存取單元300包含一請求識別單元302、一資料提取單元304、一稀疏縮減單元306、一串連單元308、一壓縮/解壓縮單元310及一分裂單元312。節點網路320可係一個二維網狀網路。處理單元316可類似於處理單元102。

一般而言，請求識別單元302經組態以接收提取儲存於一或多個資料分區330中之稀疏元素之請求342，且判定稀疏元素存取單元300是否經指派以存取由請求342指示之稀疏元素。在某些實施方案中，請求識別單元302可藉由使用一查找表而判定稀疏元素存取單元300是否經指派以存取由請求342指示之稀疏元素。舉例而言，若一特定所請求稀疏元素(例如，1號資料庫表格之1號)之一識別包含於查找表中，則請求識別單元302可將提取該特定所請求稀疏元素之一信號344發送至資料提取單元304。若一特定所請求稀疏元素(例如，1號資料庫表格之1號)之一識別未包含於查找表中，則請求識別單元302可捨棄所接收請求。在某些實施方案中，請求識別單元302可經組態以將所接收請求廣播至節點網路320上之另一稀疏



元素存取單元。

資料提取單元304經組態以回應於接收信號344而自資料分區330提取一或多個所請求稀疏元素。在某些實施方案中，資料提取單元304包含一或多個處理器322a至322k，其中 $k$ 係一整數。處理器322a至322k可係向量處理單元(VPU)、陣列處理單元或任何適合處理單元。在某些實施方案中，處理器322a至322k經配置為在資料分區330附近以減少處理器322a至322k與資料分區330之間的延時。基於稀疏元素存取單元300經指派以提取之所請求稀疏元素之數目，資料提取單元304可經組態以產生將分佈在處理器322a至322k當中之一或多個請求。在某些實施方案中，處理器322a至322k中之每一者可基於稀疏元素之識別而指派給特定稀疏元素，且資料提取單元304可經組態以基於稀疏元素之識別而針對處理器322a至322k產生一或多個請求。在某些實施方案中，資料提取單元304可藉由使用一查找表而判定處理器指派。在某些實施方案中，資料提取單元304可針對處理器322a至322k產生多個批次，其中每一批次係對所請求稀疏元素之一子集之一請求。處理器322a至322k經組態以自資料分區330獨立地提取經指派稀疏元素，且將所提取稀疏元素346轉發至稀疏縮減單元306。

稀疏縮減單元306經組態以縮減所提取稀疏元素346之尺寸。舉例而言，處理器322a至322k中之每一者可產生具有 $100 \times 1$ 之尺寸之一稀疏元素。稀疏縮減單元306可接收具有 $100 \times k$ 之尺寸之所提取稀疏元素346，且藉由通過邏輯操作、算術操作或兩者之一組合將所提取稀疏元素346之尺寸縮減為 $100 \times 1$ 而產生經稀疏縮減元素348。稀疏縮減單元306經組態以將經稀疏縮減元素348輸出至串連單元308。



串連單元308經組態以重新配置且串連經稀疏縮減元素348以產生經串連元素350。舉例而言，稀疏元素存取單元 $X_{I,I}$ 可經組態以存取1號資料庫表格之1號至200號稀疏元素。處理器322a可比經組態之處理器322b傳回所提取5號稀疏元素快速地將所提取10號稀疏元素傳回至稀疏縮減單元306。串連單元308經組態以將較晚接收之5號稀疏元素重新配置為被安排在較早接收之10號稀疏元素前面，且將1號至200號稀疏元素串連為經串連元素350。

壓縮/解壓縮單元310經組態以壓縮經串連元素350以產生用於節點網路320之一密集矩陣352。舉例而言，壓縮/解壓縮單元310可經組態以壓縮經串連元素350中之零值以改良節點網路320之頻寬。在某些實施方案中，壓縮/解壓縮單元310可解壓縮一所接收密集矩陣。舉例而言，稀疏元素存取單元300可經由節點網路320自一鄰近稀疏元素存取單元接收一密集矩陣。稀疏元素存取單元300可解壓縮所接收密集矩陣，且可串連經解壓縮密集矩陣與經串連元素350以形成可經壓縮且然後輸出至節點網路320之經更新經串連元素。

圖3B展示稀疏元素存取單元300可如何基於自節點網路320接收之一密集矩陣而更新稀疏元素之一實例。作為一實例，一處理單元可執行請求稀疏-密集變換單元使用一密集一維向量更新所儲存稀疏元素之一指令，該密集一維向量使用1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素及1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素來產生。在稀疏-密集變換單元自處理單元接收請求之後，稀疏-密集變換單元可發送如下之一請求362：指令稀疏元素存取單元300判定其是否經指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素。請求識別單元302經組態以判定稀疏元素存取單元300是否經



指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素。回應於判定稀疏元素存取單元300經指派以存取包含於密集一維向量中之稀疏元素，請求識別單元302可將更新儲存於資料分區中之稀疏元素之一指示364發送至分裂單元312。

分裂單元312經組態以將一所接收密集矩陣變換成可由資料提取單元304在資料分區330中更新之稀疏元素。舉例而言，分裂單元312可經組態以將密集一維向量變換成多個稀疏元素，且指令資料提取單元304更新稀疏元素存取單元300經指派提取的儲存於資料分區330中之稀疏元素。

圖4係圖解說明用於產生一密集矩陣之一程序400之一實例之一流程圖。程序400可由諸如稀疏-密集變換單元104或稀疏-密集變換單元200之一系統執行。該系統可包含一第一稀疏元素存取單元群組及一第二稀疏元素存取單元群組。舉例而言，參考圖2A，稀疏-密集變換單元200可包含實體地或邏輯地配置成 $M$ 列及 $N$ 行之 $M \times N$ 個稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ 。稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 至 $X_{M,N}$ 之每一列可經分割以存取自特定密集矩陣變換之稀疏元素。在某些實施方案中，該第一稀疏元素存取單元群組可包含一第一稀疏元素存取單元及一第二稀疏元素存取單元。舉例而言，稀疏-密集變換單元200之第一列可包含稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 及 $X_{1,2}$ 。在某些實施方案中，該第一稀疏元素存取單元群組及該第二稀疏元素存取單元群組可配置成一個二維網狀組態。在某些實施方案中，該第一稀疏元素存取單元群組及該第二稀疏元素存取單元群組可配置成一個二維環面組態。

系統接收對基於稀疏元素之一輸出矩陣之一請求，該等稀疏元素包含與一第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與一第二密集矩陣相關聯之稀疏



元素(402)。舉例而言，參考圖2B，一處理單元可執行向稀疏-密集變換單元200請求一密集一維向量之一指令，該密集一維向量使用1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素、2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素及1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素來產生。

在某些實施方案中，第一稀疏元素存取單元可接收對包含與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與第二密集矩陣相關聯之稀疏元素之複數個稀疏元素之一請求。第一稀疏元素存取單元可將該請求傳輸至第二稀疏元素存取單元。舉例而言，參考圖2B，在稀疏-密集變換單元200自處理單元接收該請求之後，稀疏-密集變換單元200可指令稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 將對稀疏元素之一請求廣播至網狀網路中之其他稀疏元素存取單元。稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可將一請求222廣播至稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 。

系統獲得由一第一稀疏元素存取單元群組提取之與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素(404)。在某些實施方案中，第一稀疏元素存取單元可判定該複數個稀疏元素中之一特定稀疏元素之一身份和與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素之第一子集中之一個稀疏元素之一身份匹配。舉例而言，參考圖2C，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可經組態以存取1號資料庫表格之1號至200號稀疏元素。稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可判定其經組態以存取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素，但其不經組態以存取2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素或1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素。回應於判定該複數個稀疏元素中之特定稀疏元素之身份和與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素之第一子集中之一個稀疏元素之身份匹配，第一稀疏元素存取單元可提取包含特定稀疏元素之與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素之第一子集。舉例而言，回應於判定其經組態以存取1號資料庫表格之1號至



50號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{1,1}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取1號資料庫表格之1號至50號稀疏元素。

第二稀疏元素存取單元可提取與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素之一第二不同子集。舉例而言，參考圖2C，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可經組態以存取2號資料庫表格之51號至200號稀疏元素。回應於判定其經組態以存取2號資料庫表格之100號至200號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{1,2}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取此等稀疏元素。

系統獲得由一第二稀疏元素存取單元群組提取之與第二密集矩陣相關聯之稀疏元素(406)。舉例而言，參考圖2C，第二稀疏元素存取單元群組可係 $M \times N$ 個稀疏元素存取單元之第 $M$ 列，其中稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 可經組態以存取1,000號資料庫表格之9,000號至10,000號稀疏元素。回應於判定其經組態以存取1,000號資料庫表格之9,050號至9,060號稀疏元素，稀疏元素存取單元 $X_{M,N}$ 可自此等稀疏元素儲存於其中之資料分區提取此等稀疏元素，且基於此等稀疏元素而產生一密集矩陣246。

在某些實施方案中，第一稀疏元素存取單元可自一第一資料分區提取與第一密集矩陣相關聯的稀疏元素之第一子集，且第二稀疏元素存取單元可自一第二不同資料分區提取與第一密集矩陣相關聯的稀疏元素之第二不同子集。舉例而言，參考圖1，第一稀疏元素存取單元可自資料分區106a提取與第一密集矩陣相關聯的稀疏元素之第一子集，且第二稀疏元素存取單元可自資料分區106b提取與第一密集矩陣相關聯的稀疏元素之第二不同子集。

系統變換與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與第二密集矩陣相關聯之稀疏元素以產生包含與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與第二密集



矩陣相關聯之稀疏元素之一輸出密集矩陣(408)。舉例而言，參考圖2C，稀疏-密集變換單元200可將密集矩陣242、244及246變換成用於處理器單元之一密集矩陣。

在某些實施方案中，與第一密集矩陣相關聯之稀疏元素及與第二密集矩陣相關聯之稀疏元素可係多維矩陣，且輸出密集矩陣可係一向量。舉例而言，密集矩陣242可具有 $100 \times 10$ 之尺寸，密集矩陣244可具有 $20 \times 100$ 之尺寸，且密集矩陣246可具有 $3 \times 3$ 之尺寸。稀疏-密集變換單元200可將密集矩陣242、244及246變換成具有 $1 \times 3009$ 之尺寸之一向量。

圖5係圖解說明用於產生一密集矩陣之一程序500之一實例之一流程圖。程序500可由諸如稀疏-密集變換單元104或稀疏元素存取單元300之一系統執行。

系統接收用於存取特定稀疏元素之子集之一指示(502)。舉例而言，參考圖3A，資料提取單元304可經組態以接收用於自資料分區330提取一或多個所請求稀疏元素之一信號344。在某些實施方案中，可經由一節點網路接收對儲存於一或多個資料分區中之特定稀疏元素之一請求。舉例而言，參考圖3A，請求識別單元302可經組態以經由一節點網路320接收提取儲存於資料分區330中之稀疏元素之一請求342。系統可判定資料提取單元經指派以處置特定稀疏元素之一子集。舉例而言，請求識別單元302可經組態以判定稀疏元素存取單元300是否經指派以存取由請求342指示之稀疏元素。回應於判定資料提取單元經指派以處置特定稀疏元素之一子集，可產生用於存取特定稀疏元素之子集之指示。舉例而言，若一特定所請求稀疏元素(例如，1號資料庫表格之1號)之一識別包含於一查找表中，則請求識別單元302可將提取該特定所請求稀疏元素之一信號344發送至



資料提取單元304。

系統基於特定稀疏元素之子集之識別而判定用於提取特定稀疏元素之子集之一處理器指定(504)。舉例而言，參考圖3A，資料提取單元304包含一或多個處理器322a至322k。處理器322a至322k中之每一者可基於稀疏元素之識別而指派給特定稀疏元素，且資料提取單元304可經組態以基於稀疏元素之識別而產生用於處理器322a至322k之一或多個請求。在某些實施方案中，系統可判定系統經指派以處置特定稀疏元素之子集包括基於一查找表而判定系統經指派以處置特定稀疏元素之一子集。舉例而言，資料提取單元304可藉由使用一查找表而判定處理器指派。

系統基於指定且藉由該複數個處理器中之一第一處理器提取特定稀疏元素之子集中之一第一稀疏元素(506)。舉例而言，參考圖3A，資料提取單元304可指令處理器322a提取包含於信號344中之一稀疏元素。

系統基於指定且藉由該複數個處理器中之一第二處理器提取特定稀疏元素之子集中之一第二稀疏元素(508)。舉例而言，參考圖3A，資料提取單元304可指令處理器322b提取包含於信號344中之一不同稀疏元素。

在某些實施方案中，可接收包含來自第一處理器之第一稀疏元素之一第一矩陣，其中該第一矩陣可具有一第一尺寸。系統可產生包含第一稀疏元素之一第二矩陣，該第二矩陣具有小於第一尺寸之一第二尺寸。舉例而言，稀疏縮減單元306可經組態以縮減所提取稀疏元素346之尺寸。處理器322a至322k中之每一者可產生具有 $100 \times 1$ 之尺寸之一稀疏元素。稀疏縮減單元306可接收具有 $100 \times k$ 之尺寸之所提取稀疏元素346，且藉由通過邏輯操作、算數操作或兩者之一組合將所提取稀疏元素346之尺寸縮減至 $100 \times 1$ 而產生經稀疏縮減元素348。系統可產生輸出密集矩陣，可基於第



二矩陣而產生輸出密集矩陣。舉例而言，串連單元308可經組態以重新配置且串連經稀疏縮減元素348以產生經串連元素350。

在某些實施方案中，可在一第一時間點處接收第一稀疏元素，且可在一第二不同時間點處接收第二稀疏元素。系統可判定用於輸出密集矩陣之第一稀疏元素及第二稀疏元素之一次序。舉例而言，參考圖3A，處理器322a可比經配置之處理器322b傳回所提取5號稀疏元素快速地將所提取10號稀疏元素傳回至稀疏縮減單元306。串連單元308經組態以將較晚接收之5號稀疏元素重新配置為被安排在較早接收之10號稀疏元素前面，且將1號至200號稀疏元素串連為經串連元素350。

系統基於至少應用於第一稀疏元素及第二稀疏元素之一變換而產生一輸出密集矩陣(510)。在某些實施方案中，系統可壓縮輸出密集矩陣以產生一經壓縮輸出密集矩陣。系統可將該經壓縮輸出密集矩陣提供至節點網路。舉例而言，壓縮/解壓縮單元310可經組態以壓縮經串連元素350以產生用於節點網路320之一密集矩陣352。

在某些實施方案中，系統可接收表示經由節點網路發送之一密集矩陣之一第一密集矩陣，且基於第一密集矩陣、第一稀疏元素及第二稀疏元素而產生輸出密集矩陣。舉例而言，稀疏元素存取單元300可經由節點網路320自一鄰近稀疏元素存取單元接收一密集矩陣。稀疏元素存取單元300可解壓縮該所接收密集矩陣，且可串連該經解壓縮密集矩陣與經串連元素350以形成可經壓縮且然後輸出至節點網路320之經更新經串連元素。

在某些實施方案中，特定稀疏元素中之一或多個稀疏元素係多維矩陣，且輸出密集矩陣係一向量。本說明書中所闡述之標的物及功能操作之



實施例可實施於包含本說明書中所揭示之結構及其結構等效物之數位電子電路、有形地體現之電腦軟體或韌體、電腦硬體或者其等中之一或多者之組合中。本說明書中所闡述之標的物之實施例可實施為一或多個電腦程式，亦即，編碼於一有形非暫時性程式載體上以供資料處理裝置執行或控制資料處理裝置之操作之一或多個電腦程式指令模組。替代地或另外，該等程式指令可編碼於一人工產生之所傳播信號(例如，一機器產生之電、光學或電磁信號)上，該人工產生之所傳播信號經產生以編碼用於傳輸至適合接收器裝置以由一資料處理裝置執行之資訊。電腦儲存媒體可係一機器可讀儲存器件、一機器可讀儲存基板、一隨機或串列存取記憶體器件或者其等中之一或多者之一組合。

術語「資料處理裝置」囊括用於處理資料之所有種類之裝置、器件及機器，以實例方式包含一可程式化處理器、一電腦或者多個處理器或電腦。該裝置可包含特殊用途邏輯電路，例如，一FPGA (場可程式化閘陣列)或一ASIC (特殊應用積體電路)。除硬體之外，該裝置亦可包含為所討論之電腦程式建立一執行環境之程式碼，例如，構成處理器韌體、一協定堆疊、一資料庫管理系統、一作業系統或其等中之一或多者之一組合的程式碼。

一電腦程式(其亦可稱為或闡述為一程式、軟體、一軟體應用程式、一模組、一軟體模組、一腳本或程式碼)可以任何形式之程式設計語言(包含編譯語言或解譯語言或者宣告語言或程序語言)來寫入，且其可以任何形式經部署，包含部署為一獨立程式或部署為一模組、組件、副常式或適合在一計算環境中使用之其他單元。一電腦程式可以但無需對應於一檔案系統中之一檔案。一程式可儲存於保存其他程式或資料(例如，儲存於一



標記語言文檔中之一或多個腳本)之一檔案之一部分中、儲存於專用於所討論之程式之一單個檔案中或儲存於多個協調檔案(例如，儲存一或多個模組、子程式或程式碼之部分之檔案)中。一電腦程式可經部署以在一個電腦上或在位於一個位點處或跨越多個位點分佈且藉由一通信網路互連之多個電腦上執行。

本說明書中所闡述之程序及邏輯流程可由一或多個可程式化電腦執行，該一或多個可程式化電腦執行一或多個電腦程式以藉由對輸入資料進行操作且產生輸出而執行功能。該等程序及流程亦可由特殊用途邏輯電路(例如，一FPGA (場可程式化閘陣列)、一ASIC (特殊應用積體電路)或一GPGPU (一般用途圖形處理單元))執行且裝置亦可實施為特殊用途邏輯電路。

適合用於執行一電腦程式之電腦以實例方式包含、可基於一般或特殊用途微處理器或兩者或任一其他種類之中央處理單元。一般而言，一中央處理單元將自一唯讀記憶體或一隨機存取記憶體或兩者接收指令及資料。一電腦之基本元件係用於執行指令之一中央處理單元及用於儲存指令及資料之一或多個記憶體器件。一般而言，一電腦亦將包含用於儲存資料之一或多個大容量儲存器件(例如，磁碟、磁光碟或光碟)或經操作地耦合以自該一或多個大容量儲存器件接收資料或向其傳送資料或既接收資料又傳送資料。然而，一電腦不需要具有此等器件。此外，一電腦可嵌入於另一器件中，例如僅舉幾例，一行動電話、一個人數位助理(PDA)、一行動音訊或視訊播放器、一遊戲控制台、一全球定位系統(GPS)接收器或一可攜式儲存器件(例如，一通用串列匯流排(USB)隨身碟)。

適合用於儲存電腦程式指令及資料之電腦可讀媒體包含所有形式之



非揮發性記憶體、媒體及記憶體器件，以實例方式包含：半導體記憶體器件，例如**EPROM**、**EEPROM**及快閃記憶體器件；磁碟，例如內部硬碟或可抽換式磁碟；磁光碟；及**CD ROM**碟及**DVD-ROM**碟。處理器及記憶體可由特殊用途邏輯電路補充或併入特殊用途邏輯電路中。

為提供與一使用者之互動，本說明書中所闡述之標的物之實施例可實施於具有用於向該使用者顯示資訊之一顯示器件(例如，一**CRT**(陰極射線管)或**LCD**(液晶顯示器)監視器)以及該使用者可藉以向電腦提供輸入之一鍵盤及一指向器件(例如，一滑鼠或一軌跡球)之一電腦上。亦可使用其他種類之器件來提供與一使用者之互動；舉例而言，提供給該使用者之回饋可為任何形式之傳感回饋，例如，視覺回饋、聽覺回饋或觸覺回饋；且來自該使用者之輸入可以任何形式來接收，包含聲音、語音或觸覺輸入。另外，一電腦可藉由以下方式與一使用者互動：將文檔發送至該使用者所使用之一器件及自該器件接收文檔；舉例而言，回應於自網頁瀏覽器接收之請求而將網頁頁面發送至一使用者之用戶端器件上之一網頁瀏覽器。

本說明書中所闡述之標的物之實施例可實施於一計算系統中，該計算系統包含一後端組件(例如，作為一資料伺服器)，或包含一中間軟體組件(例如，一應用程式伺服器)，或包含一前端組件(例如，具有一圖形使用者介面之一用戶端電腦或一使用者可透過其與本說明書中所闡述之標的物之一實施方案互動之一網頁瀏覽器)或者一或多個此類後端、中間軟體或前端組件之任何組合。該系統之該等組件可藉由任何數位資料通信形式或媒體(例如，一通信網路)來互連。通信網路之實例包含一區域網路(「**LAN**」)及一廣域網路(「**WAN**」)，例如網際網路。

該計算系統可包含用戶端及伺服器。一用戶端與伺服器一般彼此遠



離且通常透過一通信網路互動。用戶端與伺服器之關係藉助於在各別電腦上運行且彼此之間具有一用戶端-伺服器關係之電腦程式而產生。

儘管本說明書含有諸多具體實施細節，但此等具體實施細節不應被解釋為對任何發明或可請求之內容之範疇之限制，而是解釋為對特定發明之特定實施例可特有之特徵之說明。亦可將在本說明書中在單獨實施例之上下文中闡述之特定特徵以組合形式實施於一單個實施例中。相反地，在一單個實施例之上下文中闡述之各種特徵亦可單獨地或以任何適合子組合實施於多個實施例中。此外，儘管上文可將特徵闡述為以特定組合形式起作用且甚至最初係如此主張，但在某些情形中，可自一所主張組合去除來自該組合之一或多個特徵，且所主張之組合可係針對於一子組合或一子組合之變化形式。

類似地，儘管在圖式中以一特定次序繪示操作，但不應將此理解為需要以所展示之特定次序或以循序次序執行此類操作，或執行所有所圖解說明之操作以實現合意結果。在特定情況下，多任務及並行處理可係有利的。此外，不應將上文所闡述之實施例中之各種系統模組及組件之分離理解為在所有實施例中需要此分離，且應理解，一般可將所闡述之程式組件及系統共同整合於一單個軟體產品中或封裝至多個軟體產品中。

已闡述標的物之特定實施例。其他實施例亦在以下申請專利範圍之範疇內。舉例而言，申請專利範圍中所敘述之動作可以一不同次序執行且仍達成合意結果。作為一項實例，附圖中所繪示之程序未必需要所展示之特定次序或順序次序來達成合意結果。在特定實施方案中，多任務及並行處理可係有利的。

#### 【符號說明】



|           |           |
|-----------|-----------|
| 100       | 計算系統      |
| 102       | 處理單元      |
| 104       | 稀疏-密集變換單元 |
| 106a-106k | 資料分區      |
| 108a-108n | 稀疏元素      |
| 110       | 指令        |
| 112       | 目標密集矩陣    |
| 200       | 稀疏-密集變換單元 |
| 202       | 第一列       |
| 204       | 第二列       |
| 206       | 第M列       |
| 222       | 請求        |
| 224       | 請求        |
| 226       | 請求        |
| 230       | 請求        |
| 242       | 密集矩陣      |
| 244       | 密集矩陣      |
| 246       | 密集矩陣      |
| 252       | 稀疏元素更新請求  |
| 254       | 稀疏元素更新請求  |
| 256       | 請求        |
| 260       | 請求        |
| 300       | 稀疏元素存取單元  |



|                       |          |
|-----------------------|----------|
| 302                   | 請求識別單元   |
| 304                   | 資料提取單元   |
| 306                   | 稀疏縮減單元   |
| 308                   | 串連單元     |
| 310                   | 壓縮/解壓縮單元 |
| 312                   | 分裂單元     |
| 320                   | 節點網路     |
| 322a-322k             | 處理器      |
| 330                   | 資料分區     |
| 342                   | 請求/廣播請求  |
| 344                   | 信號       |
| 346                   | 所提取稀疏元素  |
| 348                   | 經稀疏縮減元素  |
| 350                   | 經串連元素    |
| 352                   | 密集矩陣     |
| 362                   | 請求       |
| 364                   | 指示       |
| $X_{1,1}$ - $X_{M,N}$ | 稀疏元素存取單元 |



## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統，該系統包括：

多個稀疏元素存取單元，其沿著一多維稀疏-密集變換單元之各別維度而配置，其中一稀疏元素存取單元包含：

一各別資料提取單元，其包括各別複數個處理器，該資料提取單元經組態以：

自一外部來源接收一或多個控制信號，該一或多個控制信號提供該稀疏元素存取單元經指派以存取儲存於一或多個資料分區中之特定稀疏元素之一子集的一指示，其中該資料提取單元係位於該稀疏元素存取單元中；及

基於該指示提取該等特定稀疏元素之該子集之一或多個稀疏元素；

一各別串連單元，其經組態以：

基於施加於至少該一或多個稀疏元素之一變換產生一輸出密集矩陣；及

一各別壓縮/解壓縮單元，其經組態以：

壓縮該輸出密集矩陣以產生一經壓縮輸出密集矩陣；及

提供該經壓縮輸出密集矩陣至一節點網路。

### 【第2項】

如請求項1之系統，其中該稀疏元素存取單元進一步包括：

一各別請求識別單元，其經組態以：

經由該節點網路上接收對該等特定稀疏元素之一請求；



判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，其中該請求識別單元係位於該稀疏元素存取單元中；及

回應於判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，而產生用於存取該等特定稀疏元素之該子集的該指示至該資料提取單元，其中該請求識別單元係位於該稀疏元素存取單元中。

### 【第3項】

如請求項2之系統，其中判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集係包括基於一查找表判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，其中該請求識別單元係位於該稀疏元素存取單元中。

### 【第4項】

如請求項1之系統，其中該稀疏元素存取單元進一步包括：

一各別稀疏縮減單元，其經組態以：

自一第一處理器接收包含一第一稀疏元素之一第一矩陣，該第一矩陣具有一第一維度；

產生包含該第一稀疏元素之一第二矩陣，該第二矩陣具有小於該第一維度之一第二維度，其中該串連單元進一步經組態以：

接收該第二矩陣，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括基於該第二矩陣產生該輸出密集矩陣。

### 【第5項】

如請求項1之系統，其中該串連單元經組態以：

在一第一時間點處接收一第一稀疏元素；



在不同的一第二時間點處接收一第二稀疏元素；及

判定用於該輸出密集矩陣之該第一稀疏元素與該第二稀疏元素之一次序，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括基於該第一稀疏元素與該第二稀疏元素之該次序產生該輸出密集矩陣。

**【第6項】**

如請求項1之系統，其中該串連單元進一步經組態以接收表示經由該節點網路發送之一密集矩陣之一第一密集矩陣，及其中產生該輸出密集矩陣進一步包括基於該第一密集矩陣、一第一稀疏元素與一第二稀疏元素產生該輸出密集矩陣。

**【第7項】**

如請求項6之系統，其中該壓縮/解壓縮單元經組態以解壓縮一經壓縮第一密集矩陣以產生對應於由該串連單元接收之該第一密集矩陣之一密集矩陣。

**【第8項】**

如請求項1之系統，其中該等特定稀疏元素之一或多個稀疏元素係多維矩陣，且其中該輸出密集矩陣係一向量。

**【第9項】**

如請求項1之系統，其中該多個稀疏元素存取單元係：(i)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而邏輯地配置或(ii)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而實體地配置之至少一者。

**【第10項】**

一種用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之方法，包括：

藉由一稀疏元素存取單元且自一外部來源接收用於存取一或多個



稀疏元素之一或多個控制信號，其中多個稀疏元素存取單元係沿著一多維稀疏-密集變換單元之各別維度而配置，該稀疏元素存取單元包含一各別資料提取單元、一各別串連單元與一各別壓縮/解壓縮單元；

藉由具有各別複數個處理器之該各別資料提取單元且基於該一或多個控制信號來接收該稀疏元素存取單元經指派以存取儲存於一或多個資料分區中之特定稀疏元素之一子集的一指示，其中該資料提取單元係位於該稀疏元素存取單元中；

基於該指示提取該等特定稀疏元素之該子集之一或多個稀疏元素；

藉由該各別串連單元基於施加於至少該一或多個稀疏元素之一變換產生一輸出密集矩陣；及

藉由該各別壓縮/解壓縮單元來壓縮該輸出密集矩陣以產生一經壓縮輸出密集矩陣，且提供該經壓縮輸出密集矩陣至一節點網路。

#### 【第11項】

如請求項10之方法，其進一步包括：

藉由一稀疏縮減單元自一第一處理器接收包含一第一稀疏元素之一第一矩陣，該第一矩陣具有一第一維度；

藉由該稀疏縮減單元產生包含該第一稀疏元素之一第二矩陣，該第二矩陣具有小於該第一維度之一第二維度；及

藉由該串連單元接收該第二矩陣，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括基於該第二矩陣產生該輸出密集矩陣。

#### 【第12項】



如請求項10之方法，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括：

在一第一時間點處接收一第一稀疏元素；

在不同的一第二時間點處接收一第二稀疏元素；及

判定用於該輸出密集矩陣之該第一稀疏元素與該第二稀疏元素之一次序；及

基於該第一稀疏元素與該第二稀疏元素之該次序產生該輸出密集矩陣。

### 【第13項】

如請求項10之方法，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括：

接收表示經由該節點網路發送之一密集矩陣之一第一密集矩陣；及

基於該第一密集矩陣、一第一稀疏元素與一第二稀疏元素產生該輸出密集矩陣。

### 【第14項】

如請求項10之方法，其進一步包括：

藉由一請求識別單元且經由該節點網路來接收對儲存於一或多個資料分區中之特定稀疏元素之一請求；

判定該資料提取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之一子集；及

回應於判定該資料提取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，產生用於存取該等特定稀疏元素之該子集之該指示。

### 【第15項】

如請求項14之方法，其中判定該資料提取單元經指派以處理該等特



定稀疏元素之該子集係包括基於一查找表判定該資料提取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集。

**【第16項】**

如請求項10之方法，其中該多個稀疏元素存取單元係：(i)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而邏輯地配置或(ii)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而實體地配置之至少一者。

**【第17項】**

一種用於將稀疏元素變換為一密集矩陣之系統，該系統包括：

一或多個處理器，其經組態以基於儲存於一或多個資料分區中之特定稀疏元素發送用於一輸出矩陣之一請求；

複數個稀疏元素存取單元，其經由一節點網路連接且沿著一多維稀疏-密集變換單元之各別維度而配置，其中一稀疏元素存取單元包含：

一各別資料提取單元，其包括各別複數個處理器，該資料提取單元經組態以：

自一外部來源接收一或多個控制信號，該一或多個控制信號提供該稀疏元素存取單元經指派以存取該等特定稀疏元素之一子集的一指示，其中該資料提取單元係位於該稀疏元素存取單元中；及

基於該指示提取該等特定稀疏元素之該子集之一或多個稀疏元素；

一各別串連單元，其經組態以：

基於施加於至少該一或多個稀疏元素之一變換產生一輸出密



集矩陣；及

一各別壓縮/解壓縮單元，其經組態以：

壓縮該輸出密集矩陣以產生一經壓縮輸出密集矩陣；及

提供該經壓縮輸出密集矩陣至一節點網路。

#### 【第18項】

如請求項17之系統，其中該稀疏元素存取單元進一步包括：

一各別請求識別單元，其經組態以：

經由該節點網路接收對該等特定稀疏元素之該請求；及

判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，其中該請求識別單元係位於該稀疏元素存取單元中；及

回應於判定該稀疏元素存取單元經指派以處理該等特定稀疏元素之該子集，而產生用於存取該等特定稀疏元素之該子集的該指示至該資料提取單元，其中該請求識別單元係位於該稀疏元素存取單元中。

#### 【第19項】

如請求項17之系統，其中該稀疏元素存取單元進一步包括：

一各別稀疏縮減單元，其經組態以：

自一第一處理器接收包含一第一稀疏元素之一第一矩陣，該第一矩陣具有一第一維度；

產生包含該第一稀疏元素之一第二矩陣，該第二矩陣具有小於該第一維度之一第二維度，其中該串連單元進一步經組態以：

接收該第二矩陣，其中產生該輸出密集矩陣進一步包括基於該第二矩陣產生該輸出密集矩陣。



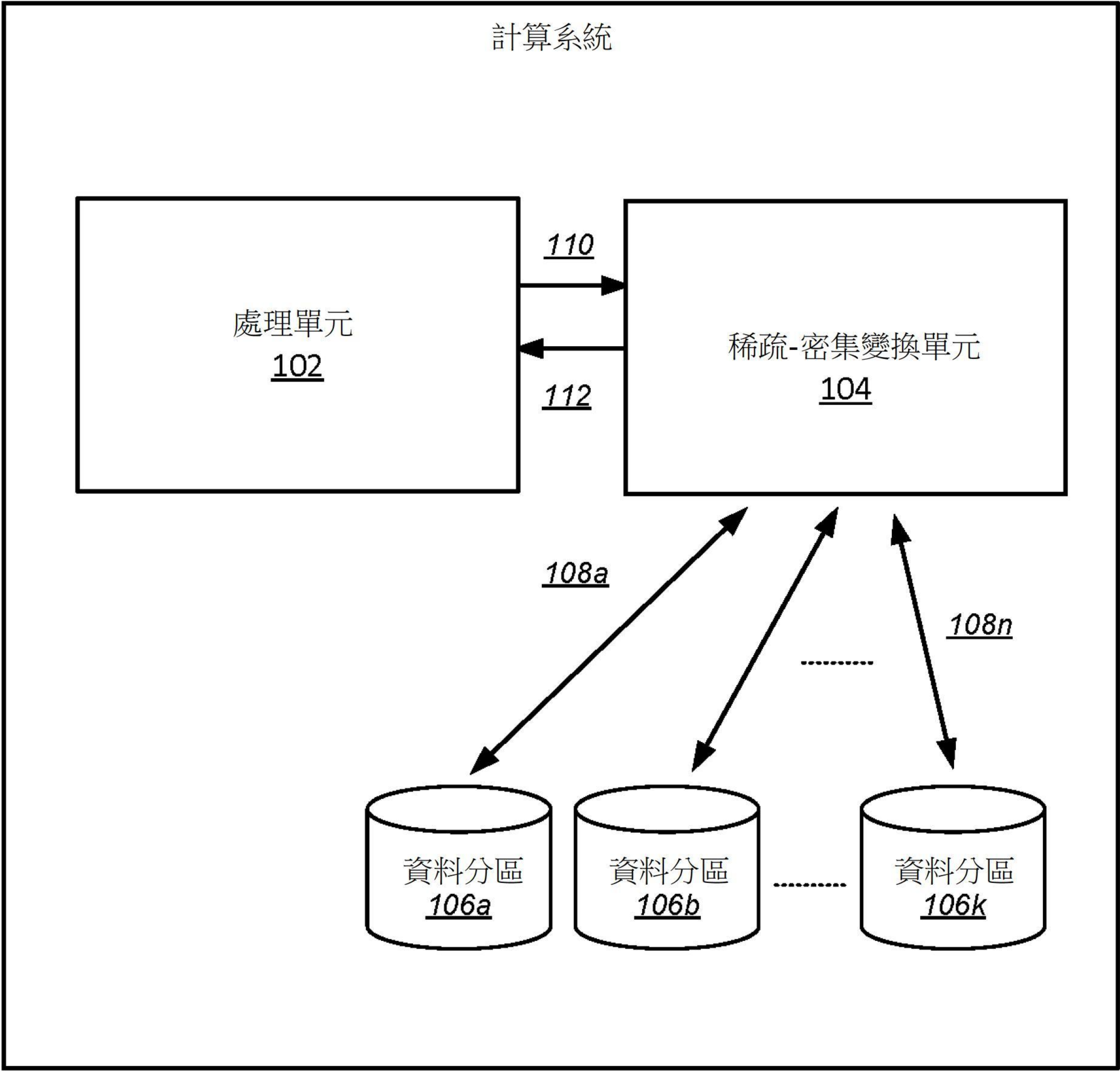
**【第20項】**

如請求項17之系統，其中該複數個稀疏元素存取單元係：(i)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而邏輯地配置或(ii)沿著該多維稀疏-密集變換單元之該等各別維度而實體地配置之至少一者。



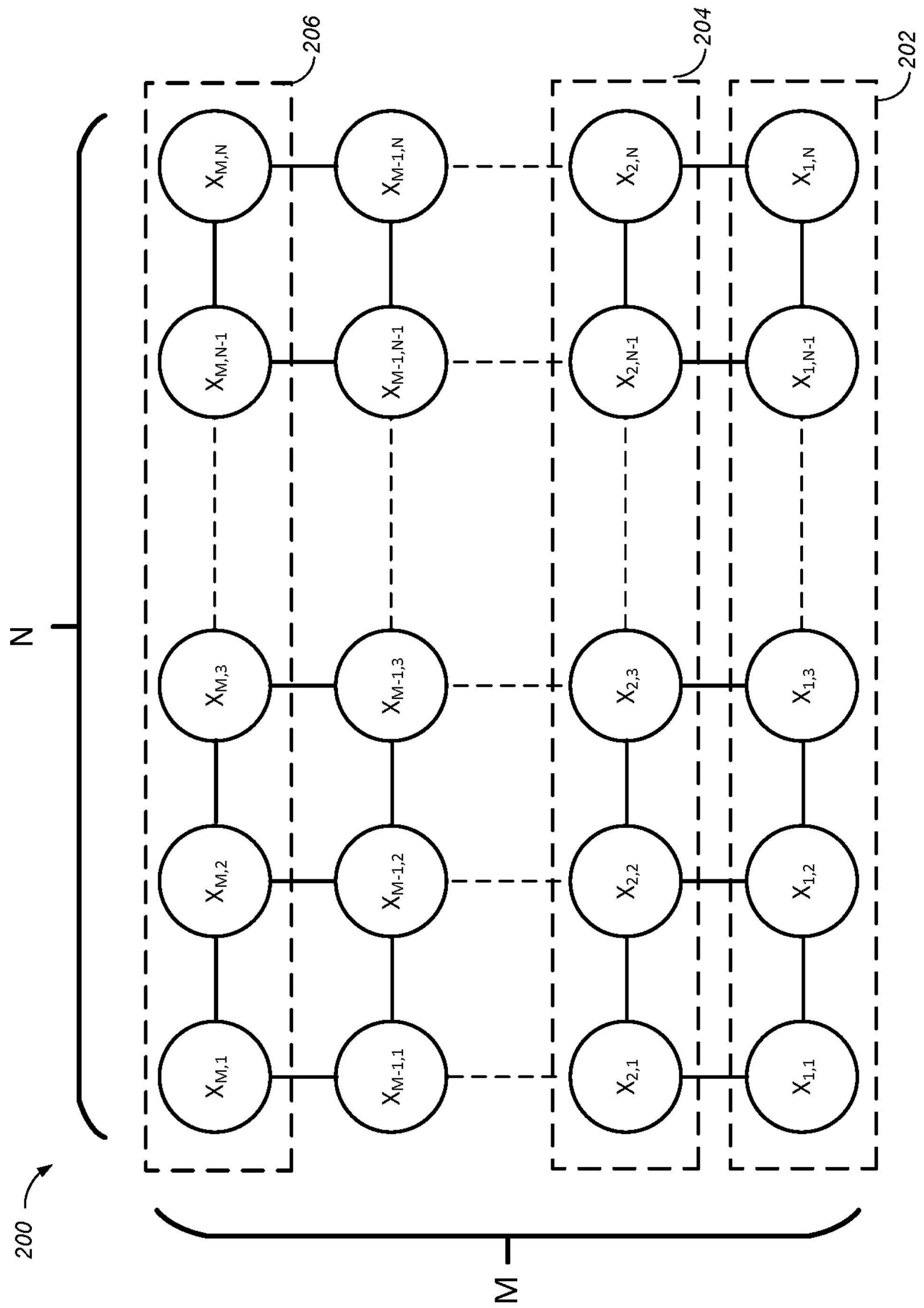
【發明圖式】

100



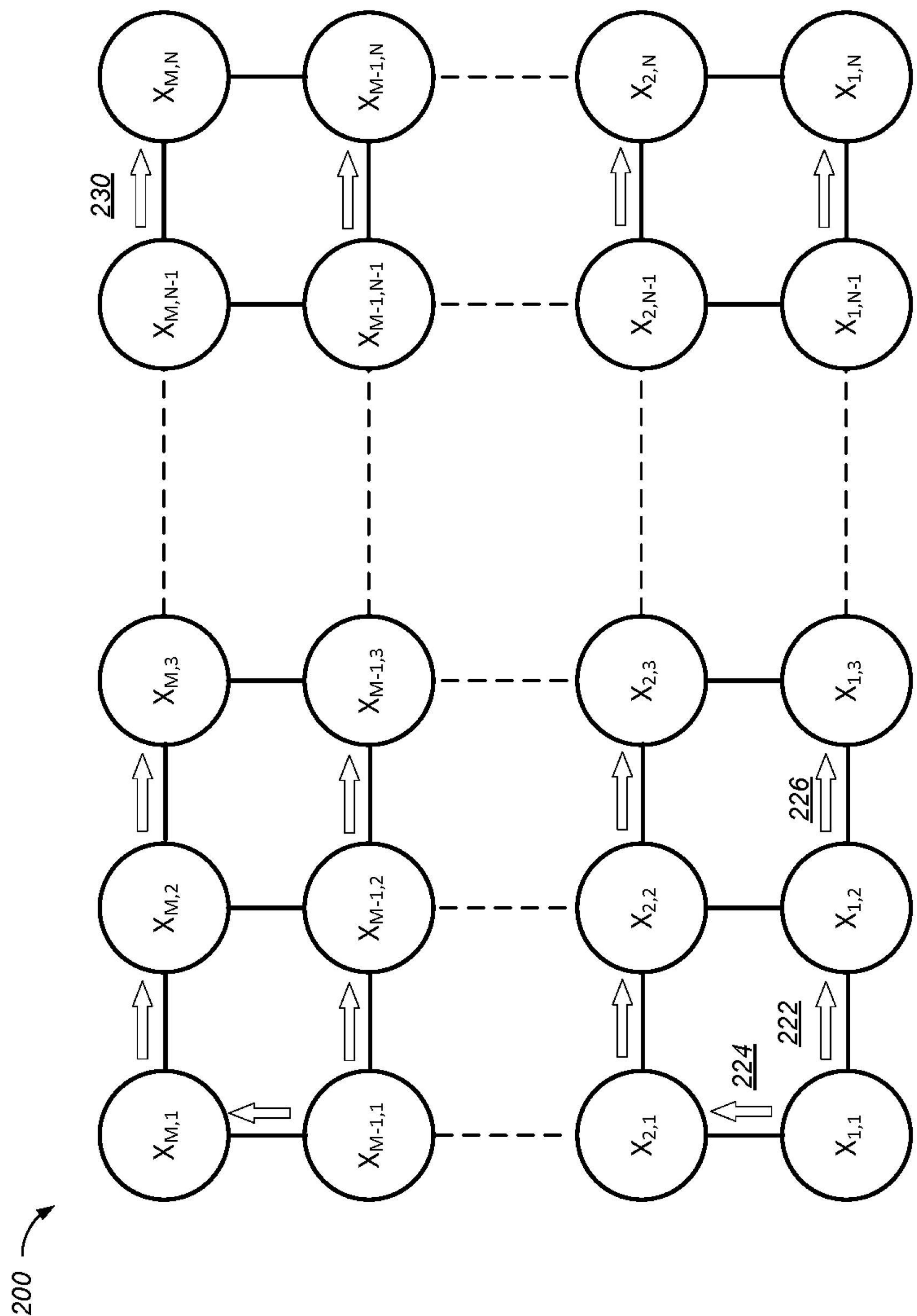
【圖1】





【圖 2A】

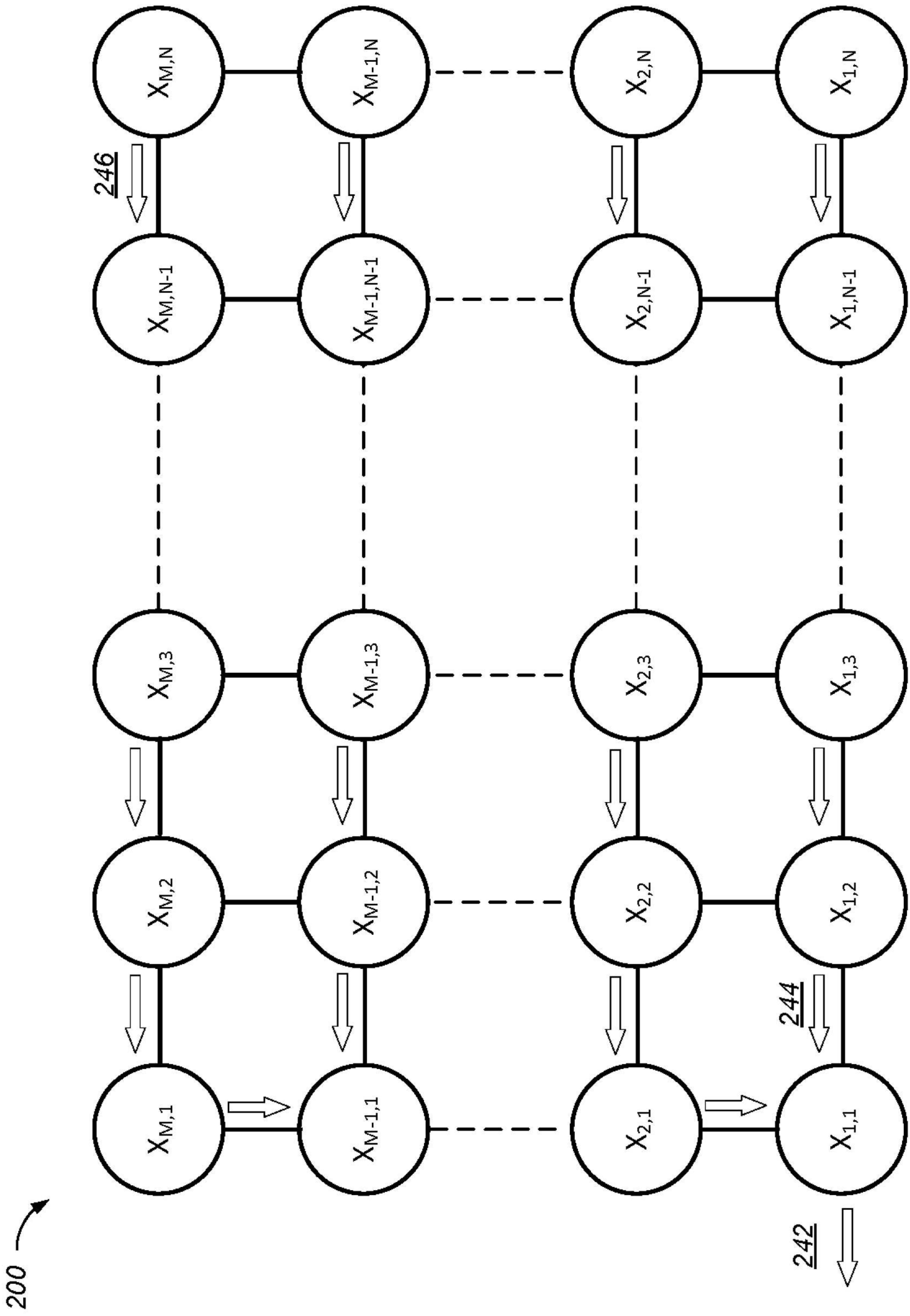




【圖 2B】

200



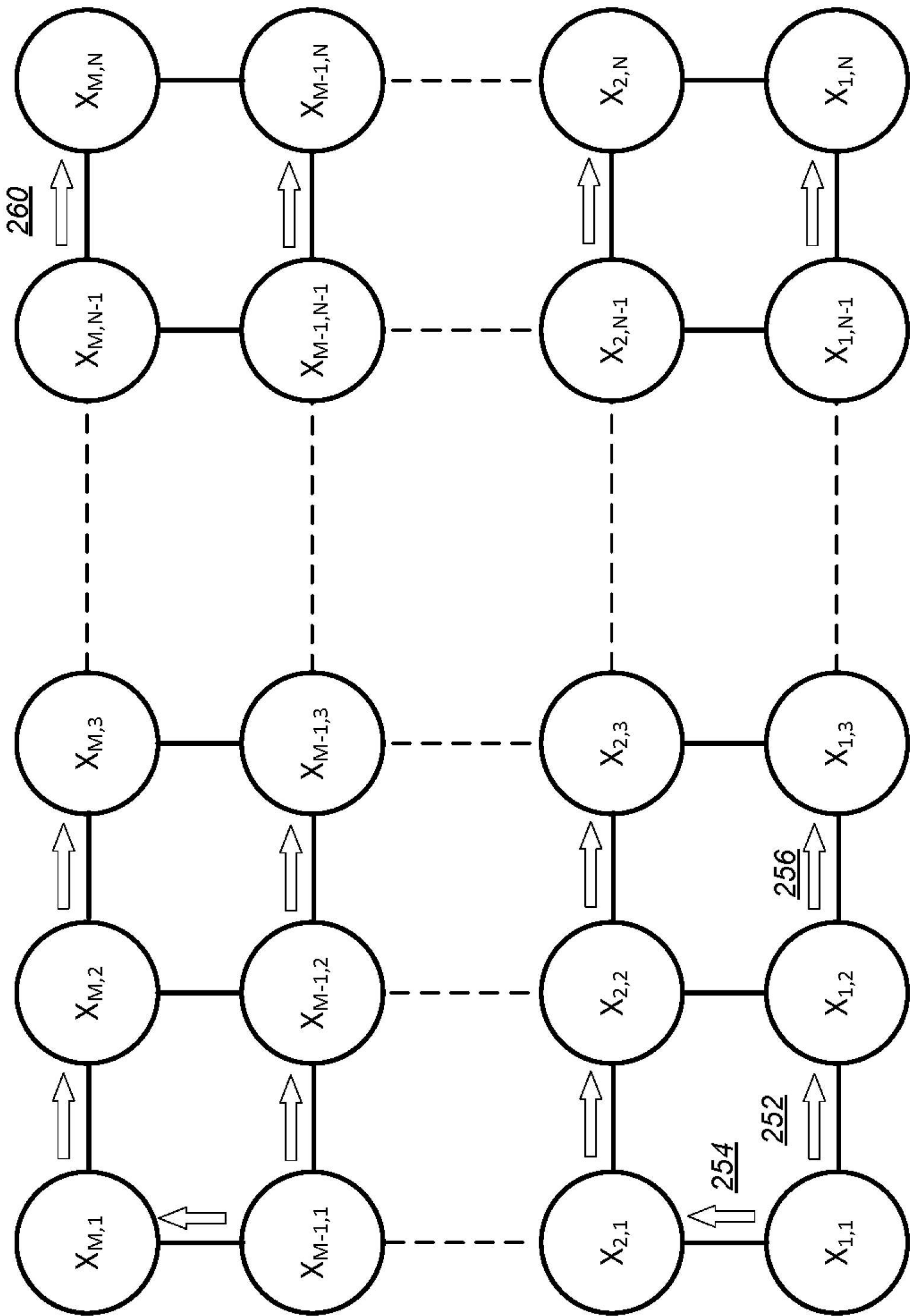


【圖 2C】

200 ↗



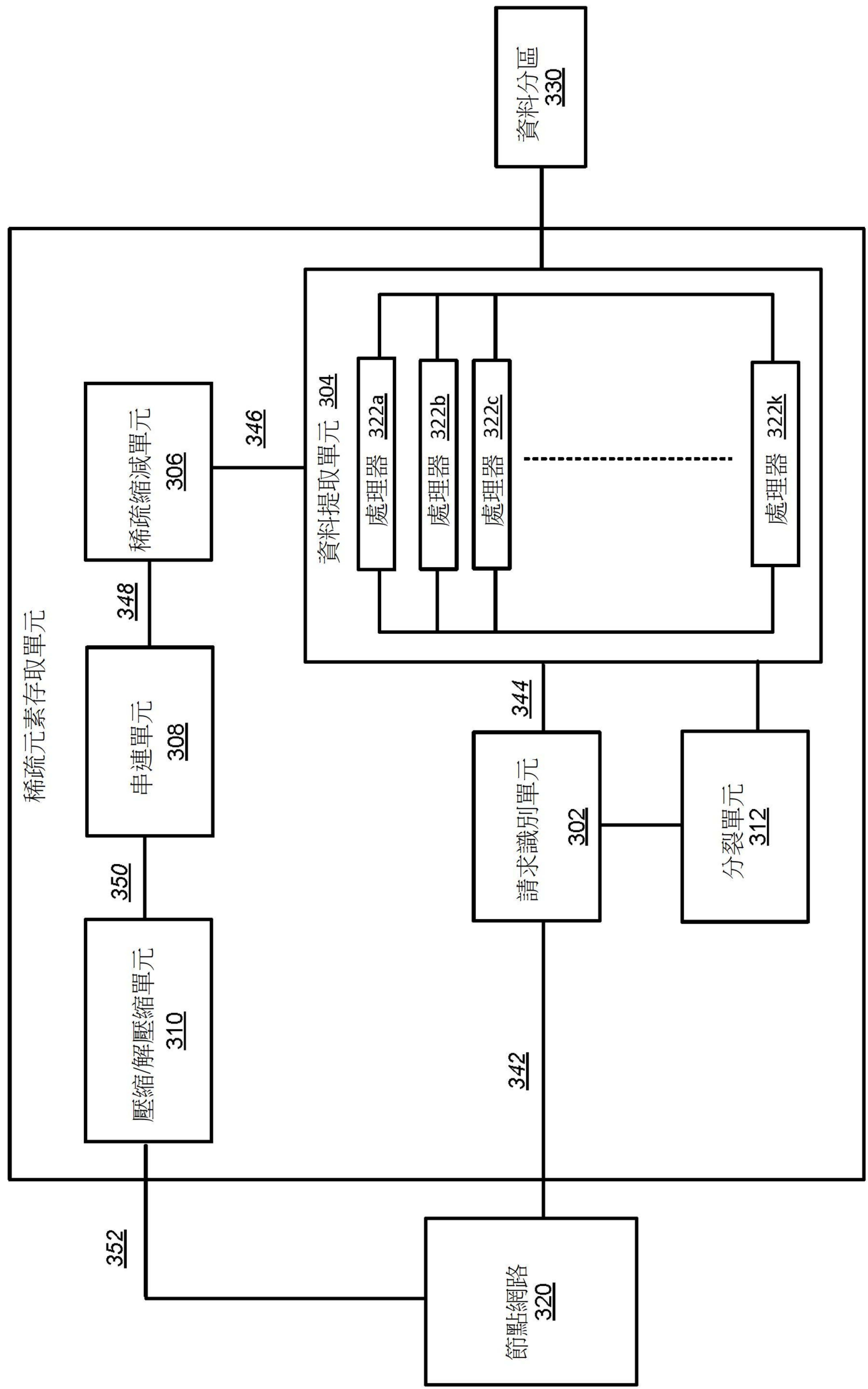
200 ↗



【圖 2D】



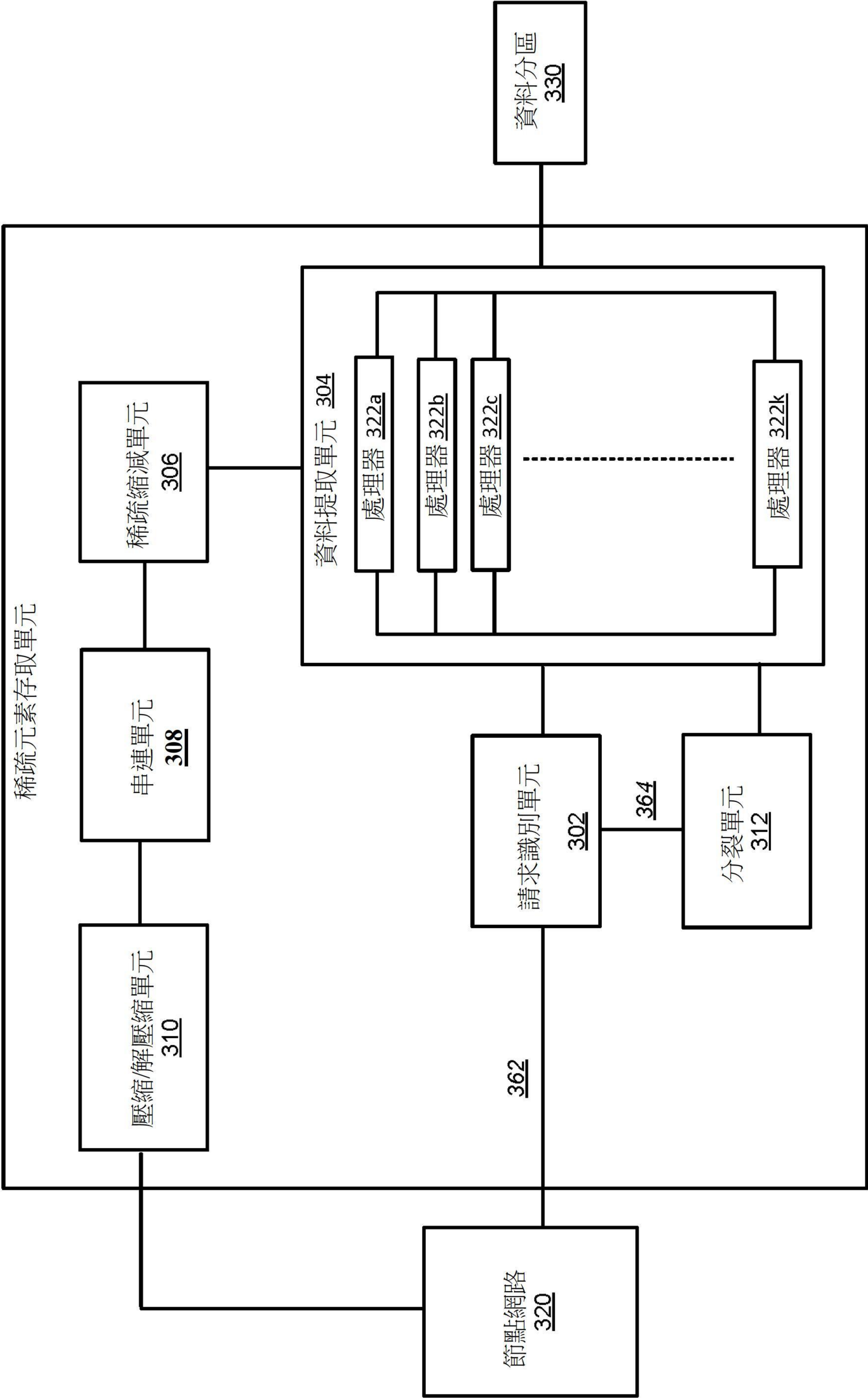
300 ↗



【圖 3A】

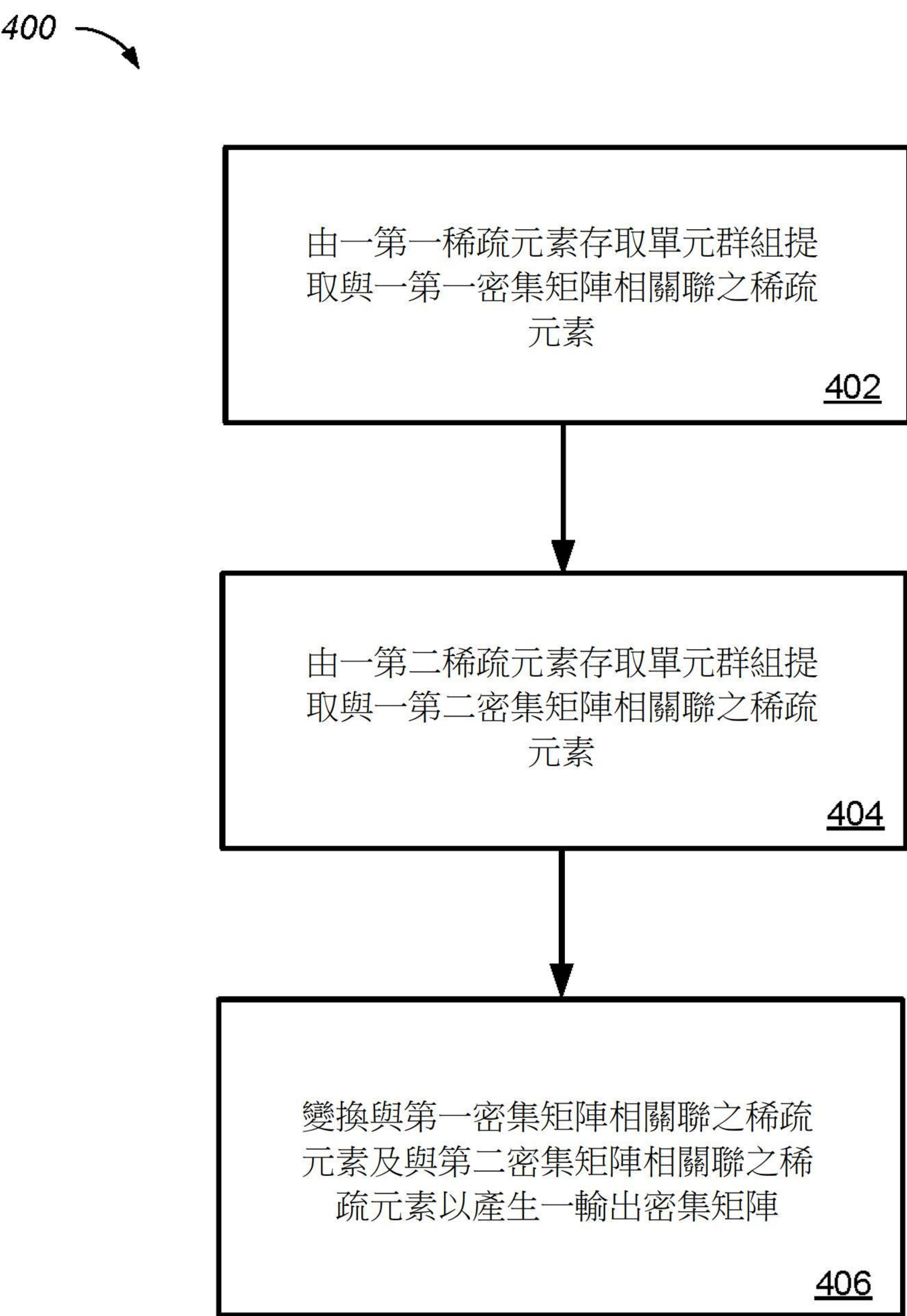


300 ↗



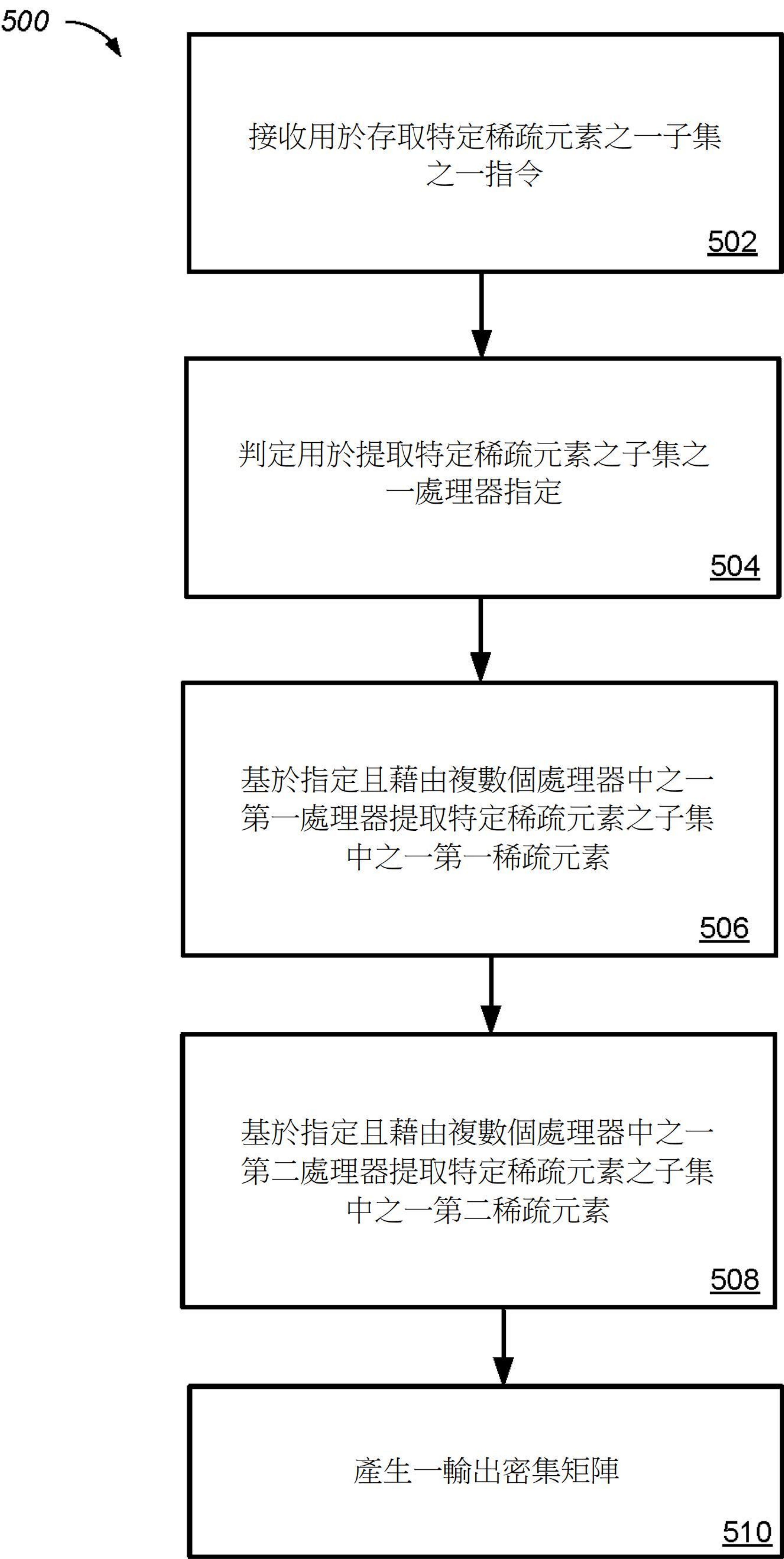
【圖 3B】





【圖4】





【圖5】