



(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 I677787 B

(45) 公告日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 21 日

(21) 申請案號：107143665

(22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 12 月 05 日

(51) Int. Cl. : **G06F12/08 (2016.01)**

(71) 申請人：核桃運算股份有限公司 (中華民國) BIGOBJECT INC. (TW)

臺北市大安區敦化南路 2 段 59 號 16 樓

(72) 發明人：薛文蔚 HSEUSH, WENWEY (TW) ; 黃怡誠 HUANG, YI CHENG (TW)

(74) 代理人：陳翠華

(56) 參考文獻：

TW I602184

TW I622881

TW 201636850A

US 7761486B2

審查人員：陳泰龍

申請專利範圍項數：12 項 圖式數：3 共 35 頁

(54) 名稱

資料管理裝置、方法及其電腦程式產品

(57) 摘要

一種資料管理裝置、方法及其電腦程式產品。資料管理裝置讀取一遞迴結構資料且將之儲存於一維記憶體空間。遞迴結構資料於一維記憶體空間具有一位置無關結構，且為可擴充及可增長的。遞迴結構資料包含多個資料元素及多個子位置無關結構一對一地對應至該等資料元素，各資料元素具有一第一編號，各子位置無關結構具有一第二編號。資料管理裝置係依據第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一維記憶體空間，依據第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

A data management apparatus, method, and computer program product thereof are provided. The data management apparatus reads a recursively structured data and stores the recursively structured data in a one-dimensional memory space. The recursively structured data has a Location Independent Structure (LIS) in the one-dimensional memory space and is extendible and growable. The recursively structured data has a plurality of data elements and a plurality of sub-LISs, the data elements correspond to the sub-LISs one-to-one, each of the data elements has a first index number, and each of the sub-LISs has a second index number. The data management apparatus stores the data elements in the one-dimensional memory space contiguously by following a descendent order of the first index numbers, stores the sub-LISs in the one-dimensional memory space contiguously by following an ascendant order of the second index numbers, and the sub-LISs are stored right behind the data elements.

指定代表圖：

符號簡單說明：

11 . . . 一維記憶體空間

12 . . . 遞迴結構資料

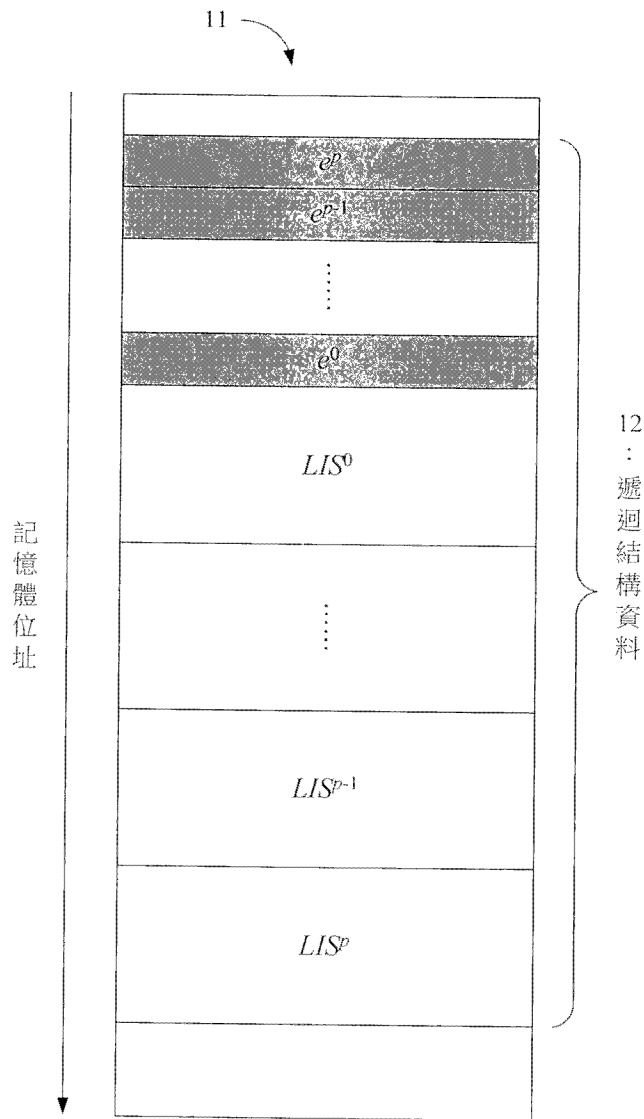
e^0 、 e^{p-1} . . . 資料元素

LIS^0 、

LIS^{p-1} . . . 子位置
無關結構

e^p . . . 新資料元素

LIS^p . . . 新子位置
無關結構



第 1D 圖

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

資料管理裝置、方法及其電腦程式產品/ DATA MANAGEMENT
APPARATUS, METHOD, AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT
THEREOF

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種資料管理裝置、方法及其電腦程式產品。具體而言，本發明係關於一種遞迴結構資料 (recursively structured data) 之資料管理裝置、方法及其電腦程式產品。

【先前技術】

【0002】 由於電子計算裝置 (例如：伺服器、個人電腦) 之實體記憶體 (physical memory) 之空間有限，現今作業系統多採用虛擬記憶體 (virtual memory) 配合需求分頁 (demand paging) 技術來管理執行中之應用程式所需之記憶體空間。在一應用程式運行時，若其當下所需之程式碼或/及資料尚未被載入實體記憶體，便會發生分頁錯誤 (page fault)。當發生分頁錯誤時，作業系統會判斷造成分頁錯誤之該次存取是否合法。若造成分頁錯誤之該次存取是合法的，則作業系統會嘗試將所需之分頁資料從硬碟上之虛擬記憶體載入實體記憶體。儘管在發生分頁錯誤時作業系統可透過前述方式讓應用程式仍可取得所需之程式碼或/及資料，但其過程涉及磁碟之輸入及輸出，因而相當耗時。

【0003】 因此，如何降低一應用程式在運行時發生分頁錯誤之機率以提升該應用程式之運行效能，同時保持該應用程式之資料之可擴充性及可

增長性以適用於更多樣化的應用領域（例如：會不斷產生串流資料之物聯網），為本領域亟需克服的議題。

【發明內容】

【0004】 為解決前述問題，本發明提供了一種資料管理裝置、方法及其電腦程式產品，其係於一維記憶體空間雙向地且緊密地排列一遞迴結構資料，且該遞迴結構資料具可擴充性及可增長性。

【0005】 本發明所提供之資料管理裝置包含一個一維記憶體空間及一處理器，且二者係電性連接。該處理器讀取一遞迴結構資料（recursively structured data）且將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間。該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構（Location Independent Structure；LIS）。該遞迴結構資料包含複數個資料元素（data elements）及複數個子位置無關結構（Sub-Location Independent Structure；Sub-LISs），該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號。該處理器係以下列方式將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間：依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

【0006】 於一實施方式中，該資料管理裝置還包含一介面，且該介面電性連接至該處理器。該介面接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構。該處理器還將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前，且將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於

該等子位置無關結構之後。

【0007】 於一實施方式中，該資料管理裝置還包含一介面，且該介面電性連接至該處理器。該介面接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料。該處理器還將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前。

【0008】 於一實施方式中，各該子位置無關結構為一底層位置無關結構 (Bottom Location Independent Structure ; Bottom LIS)，各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間。該資料管理裝置還包含一介面，且該介面電性連接至該處理器。該介面接收一新底層資料元素。該處理器還將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素之後。

【0009】 本發明所提供之資料管理方法適用於一電子計算裝置。該資料管理方法包含下列步驟：(a)讀取一遞迴結構資料，以及(b)將該遞迴結構資料儲存於一個一維記憶體空間，其中該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構，該遞迴結構資料包含複數個資料元素及複數個子位置無關結構，該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號。具體而言，該步驟 (b)係依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一個一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等

資料元素之後。

【0010】 於一實施方式中，資料管理方法還包含下列步驟：(c)接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構，以及(d)將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前，且將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構之後。

【0011】 於一實施方式中，資料管理方法還包含下列步驟：(e)接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料，以及(f)將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前。

【0012】 於一實施方式中，各該子位置無關結構為一底層位置無關結構，各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間。該資料管理方法還包含下列步驟：(g)接收一新底層資料元素，以及(h)將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素之後。

【0013】 本發明所提供之電腦程式產品包含複數個程式指令。一電子計算裝置載入該電腦程式產品後，該電子計算裝置執行該電腦程式產品所包含之該等程式指令以實現前述各種資料管理方法。

【0014】 本發明所提供之資料管理技術（包含裝置、方法及其電腦程式產品）係於一維記憶體空間緊密地排列一遞迴結構資料之複數個資料元素及複數個子位置無關結構。由於該遞迴結構資料本身所具有之遞迴結構，每一個子位置無關結構中之資料之相關性高。因此，本發明所提供之資料管

理技術將該等子位置無關結構緊密地排列於一維記憶體空間，能提高該遞迴結構資料於該一維記憶體空間之參考局部性（locality of reference），降低發生分頁錯誤之機率。再者，本發明所提供之資料管理技術係於該一維記憶體空間雙向地排列該等資料元素及該等子位置無關結構，因此若後續有該遞迴結構資料之雙親（parent）、其他兄弟或最後一個底層位置無關結構之新底層資料元素，亦能在該一維記憶體空間中將其緊鄰地排列於該遞迴結構資料旁，達到可擴充性及可增長性。

【0015】 透過將一遞迴結構資料之複數個資料元素及複數個子位置無關結構緊密地且雙向地排列於一維記憶體空間，本發明所提供之資料管理技術能在降低一應用程式在運行時發生分頁錯誤之機率，提升該應用程式之運行效能，同時保持該應用程式之資料之可擴充性及可增長性，因而能適用於更多樣化的應用領域（例如：會不斷產生串流資料之物聯網）。

【0016】 以下結合圖式闡述本發明之詳細技術及實施方式，俾使本發明所屬技術領域中具有通常知識者能理解所請求保護之發明之技術特徵。

【圖式簡單說明】

【0017】 第1A圖描繪第一實施方式之資料管理裝置1之架構示意圖；

【0018】 第1B圖描繪第一實施方式之遞迴結構資料10之示意圖；

【0019】 第1C圖描繪一維記憶體空間11所儲存之遞迴結構資料12之示意圖；

【0020】 第1D圖描繪一維記憶體空間11中擴充後之遞迴結構資料12之示意圖；

【0021】 第1E圖描繪一維記憶體空間11中增長後之遞迴結構資料12

之示意圖；

【0022】 第2A圖描繪第二實施方式之遞迴結構資料20之示意圖；

【0023】 第2B圖描繪一維記憶體空間11所儲存之遞迴結構資料22之示意圖；

【0024】 第2C圖描繪一維記憶體空間11中擴充後之遞迴結構資料22之示意圖；以及

【0025】 第3圖描繪第三實施方式之資料管理方法之流程圖。

【實施方式】

【0026】 以下將透過實施方式來解釋本發明所提供之資料管理裝置、方法及其電腦程式產品。然而，該等實施方式並非用以限制本發明需在如該等實施方式所述之任何環境、應用或方式方能實施。因此，關於以下實施方式之說明僅在於闡釋本發明之目的，而非用以限制本發明之範圍。應理解，在以下實施方式及圖式中，與本發明非直接相關之元件已省略而未繪示，且圖式中各元件之尺寸以及元件間之尺寸比例僅為便於繪示及說明，而非用以限制本發明之範圍。

【0027】 本發明所提供之資料管理裝置、方法及其電腦程式產品係以一位置無關結構 (Location Independent Structure ; LIS) 來存取、處理及管理一遞迴結構資料 (recursively structured data)。位置無關結構為不具有根節點之樹資料結構。位置無關結構為一種具有高度局部性 (strong locality) 的機制，其係以階層 (或樹) 的方式於記憶體空間排列眾多的資料元素 (data elements)。由於具有高度局部性，相關的資料元素被緊密地群聚在一起 (亦即，這些資料元素之間不存在其他不相關之資料元素) 以便於管理及提升效

能。在管理方面，能在不處理任何指標（pointer）的情況下，將一個位置無關結構或其子位置無關結構（Sub-Location Independent Structure；Sub-LIS）整塊地重新安置（re-locate）於其他的記憶體空間。這也是「位置無關結構」之命名由來。在效能方面，因具有高度局部性，大型的位置無關結構也能夠被有效率地存取及運作。

【0028】 本發明之第一實施方式為一資料管理裝置1，其架構示意圖係描繪於第1A圖。資料管理裝置1包含一個一維記憶體空間11、一處理器13及一介面15，其中處理器13電性連接至一維記憶體空間11及介面15。一維記憶體空間11可為一靜態隨機存取記憶體（Static Random Access Memory；SRAM）、一動態隨機存取記憶體（Dynamic Random Access Memory；DRAM）、一快閃記憶體或本發明所屬技術領域中具有通常知識者所知之其他記憶體空間。處理器13可為各種處理單元、中央處理單元（Central Processing Unit；CPU）、微處理器（Microprocessor）、數位訊號處理器（Digital Signal Processor；DSP）或本發明所屬技術領域中具有通常知識者所知之任何其他具有相同功能之計算裝置。介面15可為一有線介面或一無線介面，其係用於連接至一網路（例如：一網際網路、一區域網路，但不以此為限）且透過該網路收送訊號及接收資料。

【0029】 資料管理裝置1之處理器13會讀取一應用程式（未繪示）運行時所需之遞迴結構資料（recursively structured data）10。於本實施方式中，介面15自資料管理裝置1之外部接收遞迴結構資料10，而處理器13係讀取介面15所接收之遞迴結構資料10。於某些實施方式中，資料管理裝置1還包含一儲存器（例如：硬碟）且該儲存器儲存遞迴結構資料10，而處理器13係讀

取該儲存器所儲存之遞迴結構資料10。

【0030】 第1B圖係描繪遞迴結構資料10之示意圖，其中灰色格子代表資料元素，而白色格子代表子位置無關結構。遞迴結構資料10包含複數個資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 及複數個子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 。資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 一對一地對應至子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} ；具體而言，子位置無關結構 LIS^0 為資料元素 e^0 之子孫 (descendant)，子位置無關結構 LIS^{p-1} 為資料元素 e^{p-1} 之子孫，依此類推。資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 各自具有一第一編號 (亦即，上標的1、……、 $p-1$)，且子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 各自具有一第二編號 (亦即，上標的1、……、 $p-1$)。需說明者，一資料元素之第一編號與其所對應之子位置無關結構之第二標號相同。如第1B圖所示，由於遞迴結構資料10本身具有遞迴結構，因此子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 各自還可包含複數個資料元素及與該等資料元素對應之複數個其他的子位置無關結構，依此類推。

【0031】 處理器13將遞迴結構資料10儲存於一維記憶體空間11作為遞迴結構資料12，且遞迴結構資料12於一維記憶體空間11中具有一位置無關結構。具體而言，處理器13係以下列方式將遞迴結構資料10儲存於一維記憶體空間11，使一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12具有位置無關結構：沿著一維記憶體空間11之記憶體位址所界定的一個方向 (例如：記憶體位址遞增的方向)，依據該等第一編號 (亦即，1、……、 $p-1$) 遞減地將資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 緊鄰地儲存於一維記憶體空間11，依據該等第二編號 (亦即，1、……、 $p-1$) 遞增地將子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 緊鄰地儲存於一維記憶體空間11，且將子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 儲存於緊

接於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之後，如第1C圖所示。具體而言，處理器13係依據以下公式(1)將遞迴結構資料10儲存於一維記憶體空間11作為遞迴結構資料12：

$$LIS := e^{p-1} \circ \dots \circ e^0 \circ LIS^0 \circ \dots \circ LIS^{p-1} \quad (1)$$

【0032】 上述公式(1)中，變數 LIS 代表一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12，變數 p 為一正整數，變數 e^i 代表遞迴結構資料12之一資料元素，變數 LIS^i 代表遞迴結構資料12之一子位置無關結構且對應至資料元素 e^i ，變數 i 為介於0及 $p-1$ 間之整數，且符號「 \circ 」表示在一維記憶體空間11中為緊鄰的（亦即，由符號「 \circ 」相連之二個變數所代表之資料在一維記憶體空間11中為緊鄰的，例如：變數 e^0 所對應之資料元素與變數 LIS^0 所對應之子位置無關結構在一維記憶體空間11中為緊鄰的）。

【0033】 由公式(1)及第1C圖可知，處理器13係於一維記憶體空間11雙向地排列遞迴結構資料12；具體而言，子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 依據第二編號遞增地朝記憶體位址所界定的方向緊密地排列，而資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 依據第一編號遞增地朝記憶體位址所界定的相反方向緊密地排列。在一維記憶體空間11中，資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 間無其他資料，子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 間無其他資料，且資料元素 e^0 與子位置無關結構 LIS^0 間無其他資料，因此一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12具有高度局部性。此外，由於遞迴結構資料12於一維記憶體空間11係雙向地排列，因此具有可擴充性及可增長性。

【0034】 於某些實施方式中，儲存於一維記憶體空間11之遞迴結構資料12為可擴充的（extendible），亦即，可橫向地增加兄弟（sibling）。茲假設

在一維記憶體空間11被載入遞迴結構資料12後之某一時刻，介面15接收到資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之一兄弟及該兄弟之子孫。具體而言，介面15係接收到一新資料元素 e^p 及一新子位置無關結構 LIS^p ，其中新資料元素 e^p 對應至新子位置無關結構 LIS^p （亦即，新子位置無關結構 LIS^p 為新資料元素 e^p 之子孫）。

【0035】 於這些實施方式中，處理器13於一維記憶體空間11中將新資料元素 e^p 緊鄰地儲存於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之前（亦即，將新資料元素 e^p 緊鄰地儲存於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 所對應的記憶體位址之前），且於一維記憶體空間11中將新子位置無關結構 LIS^p 緊鄰地儲存於子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 之後（亦即，將新子位置無關結構 LIS^p 緊鄰地儲存於子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 所對應之記憶體位址之後），如第1D圖所示。具體而言，處理器13係依據以下公式(2)於一維記憶體空間11安排新資料元素 e^p 及新子位置無關結構 LIS^p 以更新一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12：

$$\begin{aligned} LIS' &:= e^p \circ LIS \circ LIS^p \\ &:= e^p \circ e^{p-1} \circ \dots \circ e^0 \circ LIS^0 \circ \dots \circ LIS^{p-1} \circ LIS^p \end{aligned} \quad (2)$$

【0036】 上述公式(2)中，相較於公式(1)所新增之變數 LIS' 代表一維記憶體空間11中更新後之遞迴結構資料12，變數 e^p 代表新資料元素，且 LIS^p 代表新子位置無關結構。由於處理器13係於一維記憶體空間11中將新資料元素 e^p 緊鄰地儲存於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之前且將新子位置無關結構 LIS^p 緊鄰地儲存於子位置無關結構 LIS^0 、……、 LIS^{p-1} 之後（亦即，雙向地延伸遞迴結構資料12），因此更新後之遞迴結構資料12仍具有高度局部性。

【0037】 於某些實施方式中，儲存於一維記憶體空間11之遞迴結構資料12為可增長的 (growable)，亦即，可向上增加一雙親 (parent)。茲假設在一維記憶體空間11被載入遞迴結構資料12後之某一時刻，介面15接收到遞迴結構資料12之一雙親。具體而言，介面15係接收到一新資料元素 e^{\wedge} ，且新資料元素 e^{\wedge} 係對應至一維記憶體空間11當時所儲存之遞迴結構資料12。

【0038】 於這些實施方式中，處理器13於一維記憶體空間11中將新資料元素 e^{\wedge} 緊鄰地儲存於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 所對應之記憶體位址之前，如第1E圖所示。具體而言，處理器13係依據以下公式(3)於一維記憶體空間11安排新資料元素 e^{\wedge} 以更新一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12：

$$LIS^{\wedge} := e^{\wedge} \circ LIS := e^{\wedge} \circ e^{p-1} \circ \dots \circ e^0 \circ LIS^0 \circ \dots \circ LIS^{p-1} \quad (3)$$

【0039】 上述公式(3)中，相較於公式(1)所新增之變數 LIS^{\wedge} 代表一維記憶體空間11中更新後之遞迴結構資料12，變數 e^{\wedge} 代表新資料元素。處理器13於一維記憶體空間11中將新資料元素 e^{\wedge} 緊鄰地儲存於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之前，因此更新後之遞迴結構資料12仍具有高度局部性。

【0040】 關於本發明之第二實施方式，請參第1A圖、第2A圖、第2B圖及第2C圖。第二實施方式與第一實施方式之主要差異在於資料管理裝置1所處理之遞迴結構資料之內容。於本實施方式中，處理器13所讀取之遞迴結構資料20如第2A圖所示。具體而言，遞迴結構資料20包含複數個資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 及複數個子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} ，其中子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 各為一底層位置無關結構 (Bottom Location Independent Structure; Bottom LIS)。各該底層位置無關結構 (亦即，子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 中的每一個) 包含複數個底層資料元

素，且不包含其他的子位置無關結構。

【0041】 資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 一對一地對應至子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} ；具體而言，子位置無關結構 LIS_0 為資料元素 e^0 之子孫，子位置無關結構 LIS_{p-1} 為資料元素 e^{p-1} 之子孫，依此類推。資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 各自具有一第一編號（亦即，上標的1、……、 $p-1$ ），子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 各自具有一第二編號（亦即，上標的1、……、 $p-1$ ），且各該底層位置無關結構（亦即，子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 中的每一個）之該等底層資料元素具有一第三編號。需說明者，一資料元素之第一編號與其所對應之子位置無關結構之第二標號相同。

【0042】 處理器13將遞迴結構資料20儲存於一維記憶體空間11作為遞迴結構資料22，其中遞迴結構資料22於一維記憶體空間11中具有一位置無關結構。具體而言，處理器13係以下列方式將遞迴結構資料20儲存於一維記憶體空間11，俾一維記憶體空間11中之遞迴結構資料22具有位置無關結構：沿著一維記憶體空間11之記憶體位址所界定的一個方向（例如：記憶體位址遞增的方向），依據該等第一編號（亦即，1、……、 $p-1$ ）遞減地將資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 緊鄰地儲存於一維記憶體空間11，依據該等第二編號（亦即，1、……、 $p-1$ ）遞增地將子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 緊鄰地儲存於一維記憶體空間11，將子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 儲存於緊接於資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 之後，且針對各該底層位置無關結構，依據該等第三編號遞增地將該等底層資料元素緊鄰地儲存於一維記憶體空間11。具體而言，處理器13係依據以下公式(4)及公式(5)將遞迴結構資料20儲存於一維記憶體空間11作為遞迴結構資料22：

$$LIS := e^{p-1} \circ \dots \circ e^0 \circ LIS_0 \circ \dots \circ LIS_{p-1} \quad (4)$$

$$LIS_i := e^{i,0} \circ e^{i,1} \circ \dots \circ e^{i,r_i-1} \quad (5)$$

【0043】 上述公式(4)及公式(5)中，變數 LIS 代表一維記憶體空間11中之遞迴結構資料22，變數 p 為一正整數，變數 e^i 代表遞迴結構資料22之一資料元素，變數 LIS_i 代表遞迴結構資料22之一子位置無關結構且對應至資料元素 e^i ，變數 i 為介於0及 $p-1$ 間之整數，符號「 \circ 」表示在一維記憶體空間11中為緊鄰的，變數 $e^{i,j}$ 代表子位置無關結構 LIS_i 中之第 j 個底層資料元素，且變數 r_i 代表子位置無關結構 LIS_i 中之底層資料元素之個數。

【0044】 由公式(4)及第2B圖可知，處理器13係於一維記憶體空間11雙向地排列遞迴結構資料22。換言之，子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 依據第二編號遞增地朝記憶體位址所界定的方向緊密地排列，而資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 依據第一編號遞增地朝記憶體位址所界定的相反方向緊密地排列。由公式(5)及第2B圖可知，針對各該底層位置無關結構，處理器13依據該等第三編號依序地將該等底層資料元素朝記憶體位址遞增的方向緊密地排列。以子位置無關結構 LIS_{p-1} 為例，處理器13依據該等第三編號依序地將底層資料元素 $e^{p-1,0}$ 、……、 $e^{p-1,r_{p-1}-1}$ 朝記憶體位址遞增的方向緊密地排列。在一維記憶體空間11中，資料元素 e^0 、……、 e^{p-1} 間無其他資料，子位置無關結構 LIS_0 、……、 LIS_{p-1} 間無其他資料，且資料元素 e^0 與子位置無關結構 LIS_0 間無其他資料，因此一維記憶體空間11中之遞迴結構資料12具有高度局部性。

【0045】 於本實施方式中，該等底層位置無關結構中的最後一個（亦即，子位置無關結構 LIS_{p-1} ）之底層資料元素為可擴展的。茲假設在一維

記憶體空間11被載入遞迴結構資料22後之某一時刻，介面15接收子位置無關結構 LIS_{p-1} 之一新底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}}$ 。處理器13會於一維記憶體空間11中將新底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}}$ 緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構（亦即，子位置無關結構 LIS_{p-1} ）之該最後一個底層資料元素（亦即，底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}-1}$ ）所對應之記憶體位址之後，如第2C圖所示。具體而言，處理器13係依據以下公式(6)於一維記憶體空間11安排新底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}}$ 以更新一維記憶體空間11中之遞迴結構資料22中的最後一個底層位置無關結構（亦即，子位置無關結構 LIS_{p-1} ）：

$$\begin{aligned} LIS_{p-1}' &:= LIS_{p-1} \circ e^{p-1,r_{p-1}} \\ &:= e^{p-1,0} \circ e^{p-1,1} \circ \dots \circ e^{p-1,r_{p-1}-1} \circ e^{p-1,r_{p-1}} \end{aligned} \quad (6)$$

【0046】 於公式(6)中，變數 LIS_{p-1}' 代表更新後之最後一個底層位置無關結構，變數 $e^{p-1,0}$ 、 $e^{p-1,1}$ 、……、 $e^{p-1,r_{p-1}-1}$ 代表子位置無關結構 LIS_{p-1} 原先所包含之底層資料元素，而變數 $e^{p-1,r_{p-1}}$ 代表新底層資料元素，符號「 \circ 」表示在一維記憶體空間11中為緊鄰的。由公式(6)及第2C圖可知，處理器13於一維記憶體空間11中將新底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}}$ 緊鄰地儲存於底層資料元素 $e^{p-1,r_{p-1}-1}$ 之後，因此更新後之遞迴結構資料12仍具有高度局部性。

【0047】 本發明之第三實施方式為一資料管理方法，其係適用於一電子計算裝置（例如：第一及第二實施方式中之資料管理裝置1）。該資料管理方法包含步驟S301及步驟S303。

【0048】 於步驟S301，由該電子計算裝置讀取一遞迴結構資料。於步驟S303，由該電子計算裝置將該遞迴結構資料儲存於一個一維記憶體空間，其中該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構。需說明

者，該遞迴結構資料包含複數個資料元素及複數個子位置無關結構，該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號。一資料元素之第一編號與其所對應之子位置無關結構之第二編號相同。

【0049】 具體而言，步驟S303係沿著一維記憶體空間之記憶體位址所界定的一個方向（例如：記憶體位址遞增的方向），依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一個一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。為便於理解，步驟S303係依據上述公式(1)將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間。

【0050】 於某些實施方式中，資料管理方法還可擴展該一維記憶體空間中之該遞迴結構資料。具體而言，資料管理方法還包含一步驟，由該電子計算裝置以接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構。資料管理方法還包含另一步驟，由該電子計算裝置於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前（亦即，將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素所對應的記憶體位址之前），且於該一維記憶體空間中將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構之後（亦即，將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構所對應的記憶體位址之後）；換言之，該另一步驟可依據上述公式(2)儲存該新資料元素及該新子位置無關結構。透過該等步驟，資料管理方法可擴展該一維記憶體空間中之該遞迴結構資料，且擴展後之遞迴結構資料仍具有高度局部性。

【0051】 於某些實施方式中，資料管理方法還可增長該一維記憶體空間中之該遞迴結構資料。具體而言，資料管理方法還包含一步驟，由該電子計算裝置接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料。資料管理方法還包含另一步驟，由該電子計算裝置於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前（亦即，將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素所對應的記憶體位址之前）；換言之，該另一步驟可依據上述公式(3)儲存該新資料元素。透過該等步驟，資料管理方法可增長該一維記憶體空間中之該遞迴結構資料，且增長後之遞迴結構資料仍具有高度局部性。

【0052】 於某些實施方式中，各該子位置無關結構為一底層位置無關結構，各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間。於這些實施方式中，前述步驟S303係依據上述公式(4)及(5)將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間。

【0053】 於這些實施方式中，資料管理方法還包含一步驟，由該電子計算裝置接收一新底層資料元素。資料管理方法還包含另一步驟，由該電子計算裝置於該一維記憶體空間中將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素所對應之記憶體位址之後；換言之，該另一步驟可依據上述公式(6)儲存該新底層資料元素。透過該等步驟，資料管理方法可擴展該一維記憶體空間中之該遞迴結構資料中的最後一個底層位置無關結構，且擴展後之遞迴結構資料仍具有高度局部

性。

【0054】 除了上述步驟，第三實施方式能執行第一及第二實施方式所描述之資料管理裝置1之所有運作及步驟，具有同樣之功能，且達到同樣之技術效果。本發明所屬技術領域中具有通常知識者可直接瞭解第三實施方式如何基於上述第一及第二實施方式以執行此等運作及步驟，具有同樣之功能，並達到同樣之技術效果，故不贅述。

【0055】 第三實施方式中所闡述之資料管理方法可由包含複數個程式指令之一電腦程式產品實現。該電腦程式產品所包含之該等程式指令被載入一電子計算裝置（例如：資料管理裝置1）後，該電腦程式執行如在第三實施方式中所述之資料管理方法。該電腦程式產品可為能被於網路上傳輸之檔案，亦可被儲存於一非暫態電腦可讀取儲存媒體中。該非暫態電腦可讀取儲存媒體可為一電子產品，例如：一唯讀記憶體（Read Only Memory；ROM）、一快閃記憶體、一軟碟、一硬碟、一光碟（Compact Disk；CD）、一數位多功能光碟（Digital Versatile Disc；DVD）、一隨身碟、一可由網路存取之資料庫或本發明所屬技術領域中具有通常知識者所知且具有相同功能之任何其他儲存媒體。

【0056】 需說明者，於本發明專利說明書及申請專利範圍中，第一編號、第二編號及第三編號中之「第一」、「第二」或「第三」僅用來區隔該等編號為不同項目之編號。

【0057】 綜上所述，本發明所提供之資料管理技術（包含裝置、方法及其電腦程式產品）係於一維記憶體空間緊密地排列一遞迴結構資料之複數個資料元素及複數個子位置無關結構。由於該遞迴結構資料本身所具有

之遞迴結構，每一個子位置無關結構中之資料之相關性高。因此，本發明所提供之資料管理技術將該等子位置無關結構緊密地排列於一維記憶體空間，能提高該遞迴結構資料於該一維記憶體空間之參考局部性，降低發生分頁錯誤之機率。再者，本發明所提供之資料管理技術係於該一維記憶體空間雙向地排列該等資料元素及該等子位置無關結構，因此若後續有該遞迴結構資料之雙親、其他兄弟或最後一個底層位置無關結構之新底層資料元素，亦能在該一維記憶體空間中將其緊鄰地排列於該遞迴結構資料旁，達到可擴充性及可增長性，因而能適用於更多樣化的應用領域（例如：會不斷產生串流資料之物聯網）。

【0058】 上述實施方式僅例示性地說明本發明之部分實施態樣及闡釋本發明之技術特徵，而非用來限制本發明之保護範疇及範圍。任何本發明所屬技術領域中具有通常知識者可輕易完成之改變或均等性之安排均屬於本發明所主張之範圍，本發明之權利保護範圍應以申請專利範圍為準。

【符號說明】

【0059】

1：資料管理裝置

11：一維記憶體空間

13：處理器

15：介面

10：遞迴結構資料

e^0 、……、 e^{p-1} ：資料元素

LIS^0 、……、 LIS^{p-1} ：子位置無關結構

12：遞迴結構資料

e^p ：新資料元素

LIS^p ：新子位置無關結構

$e^{\hat{}}$ ：新資料元素

20：遞迴結構資料

LIS_0 、……、 LIS_{p-1} ：子位置無關結構

22：遞迴結構資料

$e^{p-1,0}$ 、……、 $e^{p-1,r_{p-1}-1}$ ：底層資料元素

$e^{p-1,r_{p-1}}$ ：新底層資料元素

S301、S303：步驟

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

【序列表】(請換頁單獨記載)

發明摘要

【發明名稱】(中文/英文)

資料管理裝置、方法及其電腦程式產品/ DATA MANAGEMENT
APPARATUS, METHOD, AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT
THEREOF

【中文】

一種資料管理裝置、方法及其電腦程式產品。資料管理裝置讀取一遞迴結構資料且將之儲存於一維記憶體空間。遞迴結構資料於一維記憶體空間具有一位置無關結構，且為可擴充及可增長的。遞迴結構資料包含多個資料元素及多個子位置無關結構一對一地對應至該等資料元素，各資料元素具有一第一編號，各子位置無關結構具有一第二編號。資料管理裝置係依據第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一維記憶體空間，依據第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

【英文】

A data management apparatus, method, and computer program product thereof are provided. The data management apparatus reads a recursively structured data and stores the recursively structured data in a one-dimensional memory space. The recursively structured data has a Location Independent Structure (LIS) in the one-dimensional memory space and is extendible and growable.

The recursively structured data has a plurality of data elements and a plurality of sub-LISs, the data elements correspond to the sub-LISs one-to-one, each of the data elements has a first index number, and each of the sub-LISs has a second index number. The data management apparatus stores the data elements in the one-dimensional memory space contiguously by following a descendent order of the first index numbers, stores the sub-LISs in the one-dimensional memory space contiguously by following an ascendant order of the second index numbers, and the sub-LISs are stored right behind the data elements.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1D)圖。

11：一維記憶體空間

12：遞迴結構資料

e^0 、……、 e^{p-1} ：資料元素

LIS^0 、……、 LIS^{p-1} ：子位置無關結構

e^p ：新資料元素

LIS^p ：新子位置無關結構

【本代表圖之符號簡單說明】：

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

申請專利範圍

1. 一種資料管理裝置，包含：

一個一維記憶體空間；以及

一處理器，電性連接至該一維記憶體空間，用以讀取一遞迴結構資料 (recursively structured data) 以及將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間，其中該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構 (Location Independent Structure ; LIS)，該遞迴結構資料包含複數個資料元素及複數個子位置無關結構 (Sub-Location Independent Structure ; Sub-LIS)，該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號，

其中，該處理器係以下列方式將該遞迴結構資料儲存於該一維記憶體空間：依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

2. 如請求項1所述之資料管理裝置，還包含：

一介面，電性連接至該處理器，且接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構，

其中，該處理器還於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前，且於該一維記憶體空間中將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構之後。

3. 如請求項1所述之資料管理裝置，還包含：

一介面，電性連接至該處理器，且接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料，

其中，該處理器還於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前。

4. 如請求項1所述之資料管理裝置，其中各該子位置無關結構為一底層位置無關結構（Bottom Location Independent Structure；Bottom LIS），各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，該資料管理裝置還包含：

一介面，電性連接至該處理器，且接收一新底層資料元素，

其中，該處理器還於該一維記憶體空間中將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素之後。

5. 一種資料管理方法，適用於一電子計算裝置，該資料管理方法包含下列步驟：

讀取一遞迴結構資料；以及

將該遞迴結構資料儲存於一個一維記憶體空間，其中該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構，該遞迴結構資料包含複數個資料元素及複數個子位置無關結構，該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號；

其中，該儲存步驟係依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一個一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

6. 如請求項5所述之資料管理方法，還包含下列步驟：

接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構；以及

於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前，且於該一維記憶體空間中將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構之後。

7. 如請求項5所述之資料管理方法，還包含下列步驟：

接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料；以及

於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前。

8. 如請求項5所述之資料管理方法，其中各該子位置無關結構為一底層位置無關結構，各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，該資料管理方法還包含下列步驟：

接收一新底層資料元素；以及

於該一維記憶體空間中將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一

個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素之後。

9. 一種電腦程式產品，經由一電子計算裝置載入該電腦程式產品後，該電子計算裝置執行該電腦程式產品所包含之複數個程式指令，以執行一種資料管理方法，該資料管理方法包含下列步驟：

讀取一遞迴結構資料；以及

將該遞迴結構資料儲存於一個一維記憶體空間，其中該遞迴結構資料於該一維記憶體空間中具有一位置無關結構，該遞迴結構資料包含複數個資料元素及複數個子位置無關結構，該等資料元素一對一地對應至該等子位置無關結構，各該資料元素具有一第一編號，且各該子位置無關結構具有一第二編號；

其中，該儲存步驟係依據該等第一編號遞減地將該等資料元素緊鄰地儲存於一個一維記憶體空間，依據該等第二編號遞增地將該等子位置無關結構緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，且將該等子位置無關結構儲存於緊接於該等資料元素之後。

10. 如請求項9所述之電腦程式產品，其中該資料管理方法還包含下列步驟：

接收一新資料元素及一新子位置無關結構，其中該新資料元素對應至該新子位置無關結構；以及

於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前，且於該一維記憶體空間中將該新子位置無關結構緊鄰地儲存於該等子位置無關結構之後。

11. 如請求項9所述之電腦程式產品，其中該資料管理方法還包含下列步驟：

接收一新資料元素，其中該新資料元素對應至該遞迴結構資料；以

及

於該一維記憶體空間中將該新資料元素緊鄰地儲存於該等資料元素之前。

12.如請求項9所述之電腦程式產品，其中各該子位置無關結構為一底層位置無關結構，各該底層位置無關結構包含複數個底層資料元素，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素具有一第三編號，各該底層位置無關結構之該等底層資料元素係被該處理器依據該等第三編號遞增地緊鄰地儲存於該一維記憶體空間，該資料管理方法還包含下列步驟：

接收一新底層資料元素；以及

於該一維記憶體空間中將該新底層資料元素緊鄰地儲存於該最後一個底層位置無關結構之該最後一個底層資料元素之後。