201640357

(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 201640357 A

(43)公開日： 中華民國 105 (2016) 年 11 月 16 日

(21)申請案號：104139147 (22)申請日： 中華民國 104 (2015) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl.： *G06F12/08 (2016.01)* *G06F12/12 (2016.01)*
*G11C7/10 (2006.01)*

(30)優先權：2014/12/26 美國 14/583,343

(71)申請人：英特爾公司 (美國) INTEL CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：薩米 阿瑪德A SAMIH, AHMAD A. (JO)

(74)代理人：惲軼群

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：8 共 56 頁

(54)名稱

記憶體中成本感知之頁面調換及替換之技術

COST-AWARE PAGE SWAP AND REPLACEMENT IN A MEMORY

(57)摘要

辨識並非所有逐出之記憶體逐出在系統效能具有一相等成本。一管理裝置保持與記憶體之每一部分相關聯之一權重及/或一計數。每一記憶體部分係相關聯於一來源代理，該來源代理產生對該記憶體部分之請求。該管理裝置藉由指示一潛時影響之一成本因數來調整該權重，該潛時影響可在該經逐出記憶體部分在被逐出之後再次被請求的情況下發生。該潛時影響為該關聯來源代理對替換該記憶體部分之一潛時影響。回應於偵測到對該記憶體裝置之一逐出觸發，該管理裝置可識別具有諸如一最高值權重或最低值權重之一最極端權重的一記憶體部分。該管理裝置以觸發該逐出之一記憶體部分來替換該所識別記憶體部分。

Memory eviction that recognizes not all evictions have an equal cost on system performance. A management device keeps a weight and/or a count associated with each portion of memory. Each memory portion is associated with a source agent that generates requests to the memory portion. The management device adjusts the weight by a cost factor indicating a latency impact that could occur if the evicted memory portion is again requested after being evicted. The latency impact is a latency impact for the associated source agent to replace the memory portion. In response to detecting an eviction trigger for the memory device, the management device can identify a memory portion having a most extreme weight, such as a highest or lowest value weight. The management device replaces the identified memory portion with a memory portion that triggered the eviction.

指定代表圖：

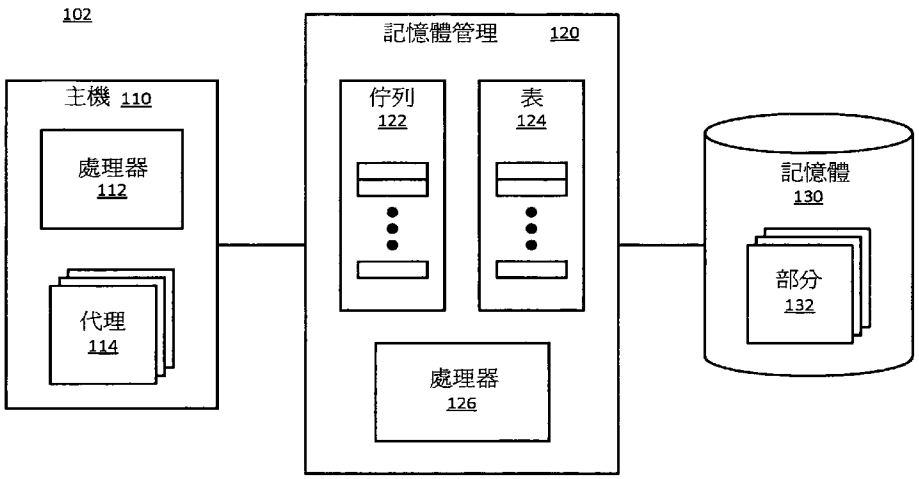



圖1A

符號簡單說明：

102・・・系統

110・・・主機

112、126・・・處理器

114・・・代理

120・・・記憶體管理

122・・・佇列

124・・・表

130・・・記憶體裝置

132・・・記憶體之部分

201640357

# 發明摘要

※ 申請案號：104139147

※ 申請日：104.11.25　　※IPC 分類：G06F 9/48 (2016.01)
G06F 12/12 (2016.01)
G11C 7/10 (2006.01)

## 【發明名稱】(中文/英文)

記憶體中成本感知之頁面調換及替換之技術

COST-AWARE PAGE SWAP AND REPLACEMENT IN A MEMORY

## 【中文】

辨識並非所有逐出之記憶體逐出在系統效能具有一相等成本。一管理裝置保持與記憶體之每一部分相關聯之一權重及/或一計數。每一記憶體部分係相關聯於一來源代理，該來源代理產生對該記憶體部分之請求。該管理裝置藉由指示一潛時影響之一成本因數來調整該權重，該潛時影響可在該經逐出記憶體部分在被逐出之後再次被請求的情況下發生。該潛時影響爲該關聯來源代理對替換該記憶體部分之一潛時影響。回應於偵測到對該記憶體裝置之一逐出觸發，該管理裝置可識別具有諸如一最高值權重或最低值權重之一最極端權重的一記憶體部分。該管理裝置以觸發該逐出之一記憶體部分來替換該所識別記憶體部分。

## 【英文】

Memory eviction that recognizes not all evictions have an equal cost on system performance. A management device keeps a weight and/or a count associated with each portion of memory. Each memory portion is associated with a source agent that generates requests to the memory portion. The management device adjusts the weight by a cost factor indicating a latency impact that could occur if the evicted memory portion is again requested after being evicted. The latency impact is a latency impact for the associated source agent to replace the memory portion. In response to detecting an eviction trigger for the memory device, the management device can identify a memory portion having a most extreme weight, such as a highest or lowest value weight. The management device replaces the identified memory portion with a memory portion that triggered the eviction.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（1A）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

102...系統
110...主機
112、126...處理器
114...代理
120...記憶體管理
122...佇列
124...表
130...記憶體裝置
132...記憶體之部分

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

# 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）

記憶體中成本感知之頁面調換及替換之技術

COST-AWARE PAGE SWAP AND REPLACEMENT IN A MEMORY

## 【技術領域】

發明領域

[0001] 本發明之實施例大體上係關於記憶體管理，且更明確而言係關於記憶體中成本感知之頁面調換及替換之技術。

## 【先前技術】

**版權聲明/權限**

[0002] 此專利文獻的揭示內容之數個部分可含有受版權保護之材料。版權所有者不反對任何人複製如專利與商標局(Patent and Trademark Office)專利檔案或記錄中出現的該專利文獻或該專利揭示內容，但在其他任何情況下均保留所有版權。版權聲明適用於如下所述之所有資料，且在其隨附圖式中，同樣適用於下文所描述之任何軟體：Copyright©2014，Intel Corporation，保留所有權利。

發明背景

[0003] 當記憶體裝置儲存接近容量或處於容量的資料時，將需要回應於來自正運行之應用程式之額外資料存取請求而替換資料以能夠儲存新資料。一些正運行之應用程

式對潛時更敏感，而其他應用程式對頻寬約束更敏感。記憶體管理器傳統地判定記憶體之哪一部分來替換或調換以試圖減小故障或未命中的數目。然而，減少故障或未命中之總數對於效能可能並非最佳的，從而看出一些故障自正運行之應用程式工作負載的觀點相較於其他應用程式爲更昂貴的。

## 【發明內容】

[0004] 依據本發明之一實施例，係特地提出一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出之方法，其包含以下步驟：初始化針對一記憶體裝置中的多個記憶體部分中之一者的一計數，包括使該計數與存取該一個記憶體部分之一來源代理相關聯；基於藉由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數，其中該動態成本因數表示對該來源代理替換該記憶體部分之效能的一潛時影響；以及比較該計數與針對該等多個部分中之其他部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。

## 【圖式簡單說明】

[0005] 以下描述包括關於諸圖的論述，該論述具有藉助於本發明之實施例之實施的實例給出之說明。圖式應作爲實例而非作爲限制來理解。如本文中所使用，對一或多個「實施例」之參考應理解爲描述包括於本發明之至少一個實施中之特定特徵、結構及/或特性。因此，本文中出現的

諸如「在一個實施例中」或「在一替代實施例中」之片語描述本發明之各種實施例及實施，且未必全部指同一實施例。然而，該等片語亦未必相互排斥。

[0006] **圖1A**爲藉由基於成本之因數實施記憶體逐出的系統之實施例之方塊圖。

[0007] **圖1B**爲藉由基於成本之因數於記憶體控制器處實施記憶體逐出之系統的實施例之方塊圖。

[0008] **圖2**爲在多層級記憶體系統中藉由基於成本之因數實施記憶體逐出之系統的實施例之方塊圖。

[0009] **圖3**爲基於具有LRU因數及基於成本之因數的計數而實施記憶體逐出的系統之實施例之方塊圖。

[0010] **圖4**爲用於管理自記憶體裝置之逐出之程序的實施例之流程圖。

[0011] **圖5**爲用於選擇逐出候選者之程序的實施例之流程圖。

[0012] **圖6**爲用於管理逐出計數之程序之實施例的流程圖。

[0013] **圖7**爲可實施基於成本之逐出管理的計算系統之實施例的方塊圖。

[0014] **圖8**爲可實施基於成本之逐出管理的行動裝置之實施例的方塊圖。

[0015] 某些細節及實施之描述如下，包括可描繪下文所描述之實施例中之一些或全部的諸圖之描述以及論述本文中呈現的本發明概念之其他可能實施例或實施。

## 【實施方式】

較佳實施例之詳細說明

[0016] 如本文中所描述，記憶體逐出慮及關於系統效能之不同成本之逐出。替代僅基於記憶體之特定部分之新近度及/或使用保持權重或值，記憶體逐出可經組配以逐出對系統效能具有較低成本影響的記憶體部分。在一個實施例中，管理裝置保持與每一記憶體部分相關聯之權重及/或計數，該權重及/或計數包括成本因數。每一記憶體部分與產生對記憶體部分之請求的應用程式或來源代理相關聯。成本因數指示在經逐出記憶體部分在被逐出之後被再次請求之情況下可發生的對來源代理之潛時影響，或對替換經逐出之記憶體部分的潛時影響。回應於偵測到對記憶體裝置之逐出觸發，管理裝置可識別具有諸如最高或最低權重之最極端權重的記憶體部分。系統可經組配以使得最低權重或最高權重對應於最後逐出成本。在一個實施例中，管理裝置保持具有最高逐出成本之記憶體部分，且替換具有最低逐出成本的記憶體部分。因此，系統可經組配以逐出將對系統效能具有最小影響的記憶體部分。在一個實施例中，使用所描述之基於成本的方法可改進具有潛時敏感性工作負載之系統中的潛時。

[0017] 應理解，可使用不同記憶體架構。單層級記憶體(SLM)具有單層級記憶體資源。記憶體層級指具有相同或實質上類似之存取時間的裝置。多層級記憶體(MLM)包括多層級記憶體資源。記憶體資源之每一層級具有不同存取時

間，其中更快之記憶體更靠近處理器或處理器核心，且較慢之記憶體距核心更遠。典型地，除更快速外，更靠近記憶體傾向於爲較小的，且緩慢之記憶體傾向於具有更多儲存空間。在一個實施例中，系統中最高層級之記憶體被稱作主記憶體，而其他層可被稱作快取記憶體。最高層級記憶體自儲存資源獲得資料。

[0018]本文中所描述之基於成本的方法可應用至SLM或MLM。雖然架構及實施可不同，但在一個實施例中，SLM中之逐出可被稱作結合頁面替換發生，且MLM中之逐出可被稱作結合頁面調換發生。如熟習此項技術者將理解，頁面替換及頁面調換指自記憶體資源逐出或移除資料，以爲來自較高層級或來自儲存器的資料留出空間。在一個實施例中，SLM或MLM中之所有記憶體資源爲依電性記憶體裝置。在一個實施例中，一或多個層級之記憶體包括非依電性記憶體。儲存器爲非依電性記憶體。

[0019]在一個實施例中，記憶體管理使權重與每一頁面或記憶體部分相關聯以實施成本感知之頁面或部分替換。應理解，實施權重爲一個非限制性實例。傳統地，與記憶體頁面相關聯之權重僅自新近度資訊(例如，僅LRU(最近最少使用)資訊)導出。如本文所描述，記憶體管理可基於新近度資訊(例如，LRU資訊)使權重或其他計數與每一頁面相關聯，且基於成本資訊而修改或調整權重或計數。理想地，更新近地存取且與高成本相關聯的頁面或部分將不經選擇用於替換或調換。實情爲，記憶體管理將自頁面選擇逐出

候選者，該頁面並非新近的且亦與低成本相關聯。

[0020]在一個實施例中，記憶體管理產生可表達如下的成本量測：

$$權重 = 新近度 + \alpha(成本)$$

權重爲儲存之結果或用來判定用於逐出之候選資格的計數。在一個實施例中，記憶體管理根據已知LRU演算法來計算頁面或部分的新近度。在一個實施例中，記憶體管理根據與頁面或部分相關聯之來源代理的平行度的量來計算該頁面或部分的成本。舉例而言，在一個實施例中，成本與在一時段上做出之請求的數目或在請求佇列中當前待決之請求的數目成反比。因數$\alpha$可用以增加或減小基於成本之因數相對於新近度因數的權重。將看出，當$\alpha$=0時，頁面或部分之權重可僅基於新近度資訊而做出決定。

[0021]在一個實施例中，$\alpha$爲動態可調整因數。$\alpha$之值應經訓練以給出針對成本的適當權重。在一個實施例中，訓練基於在所界定架構上運行之應用程式的清單離線地進行以找尋針對特定待決佇列計數之$\alpha$越過所有應用程式平均起來的適當值。在一個實施例中，$\alpha$的值可基於進行快取記憶體管理之系統的效能或條件來修改。

[0022]對記憶體裝置之參考可應用於不同記憶體類型。記憶體裝置大體上指依電性記憶體技術。依電性記憶體爲在至裝置之電力中斷情況下其狀態(且因此儲存於其上之資料)爲不確定的記憶體。非依電性記憶體指其狀態即使在至裝置之電力經中斷情況下仍係確定的記憶體。動態依電

性記憶體需要再新儲存在裝置中之資料以維持狀態。動態依電性記憶體之一項實例包括DRAM(動態隨機存取記憶體)，或諸如同步DRAM(SDRAM)之一些變體。如本文中所描述之記憶體子系統可與多種記憶體技術相容，諸如DDR3(雙重資料速率版本3，2007年6月27日由JEDEC(聯合電子裝置工程委員會)發佈的原始版，當前爲版21)、DDR4(DDR版本4，由JEDEC在2012年9月公開的初始規範)、LPDDR3(低電力DDR版本3，JESD209-3B，由JEDEC在2013年8月公開)、LPDDR4(低電力雙資料速率(LPDDR)版本4，JESD209-4，最初在2014年8月由JEDEC公開)、WIO2(廣泛I/O 2 (WideIO2)，JESD229-2，在2014年8月由JEDEC最初公開)、HBM(高頻寬記憶體DRAM，JESD235，最初在2013年10月由JEDEC公開)、DDR5(DDR版本5，由JEDEC當前在討論中)、LPDDR5(由JEDEC當前在論述中)、WIO3(廣泛I/O 3，由JEDEC當前在論述中)、HBM2(HBM版本2)，由JEDEC當前在論述中)及/或其他，以及基於此等規範之衍生物或擴展的技術。

[0023]除依電性記憶體外或替代依電性記憶體，在一個實施例中，參考記憶體裝置可指其狀態即使在至裝置之電力被中斷情況下仍爲確定的非依電性記憶體裝置。在一個實施例中，非依電性記憶體裝置爲區塊可定址記憶體裝置，諸如反及(NAND)或反或(NOR)技術。因此，記憶體裝置亦可包括將來一代之非依電性裝置，諸如三維交叉點記憶體裝置，或其他位元組可定址非依電性記憶體裝置。在一個

實施例中，記憶體裝置可爲或包括多臨限位準NAND快閃記憶體、NOR快閃記憶體、單層級或多層級相變記憶體(PCM)、電阻性記憶體、奈米線記憶體、鐵電電晶體隨機存取記憶體(FeTRAM)、併有憶阻器技術的的磁電阻隨機存取記憶體(MRAM)記憶體或自旋轉移力矩(STT)-MRAM或上述各者中任何者的組合或其他記憶體。

[0024] 圖1A爲藉由基於成本之因數實施記憶體逐出的系統之實施例之方塊圖。系統102表示記憶體子系統之元件。記憶體子系統包括至少記憶體管理120及記憶體裝置130。記憶體裝置130包括多個記憶體之部分132。在一個實施例中，每一部分132爲頁面(例如，某些計算系統中爲4k位元組)。在一個實施例中，每一部分132爲不同於頁面的大小。頁面大小對於系統102之不同實施可不同。頁面可指在記憶體130內被同時參考的資料之基本單元。

[0025] 主機110表示記憶體130儲存資料及/或程式碼針對之硬體及軟體平台。主機110包括處理器112以在系統102內執行操作。在一個實施例中，處理器112爲單核處理器。在一個實施例中，處理器112爲多核處理器。在一個實施例中，處理器112表示系統102中執行主作業系統的主計算資源。在一個實施例中，處理器112表示圖形處理器或周邊處理器。由處理器112進行之操作產生對儲存於記憶體130中之資料的請求。

[0026] 代理114表示由處理器112執行之程式，且爲針對對記憶體130之存取請求的來源代理。在一個實施例中，代

理114爲分離應用程式，諸如終端使用者應用程式。在一個實施例中，代理114包括系統應用程式。在一個實施例中，代理114表示執行緒或程序或主機110內之其他執行單元。記憶體管理120管理由主機110對記憶體130的存取。在一個實施例中，記憶體管理120爲主機110之部分。在一個實施例中，記憶體管理120可被視爲記憶體130之部分。記憶體管理120經配置以至少部分基於與每一部分相關聯之成本因數而實施部分132的逐出。在一個實施例中，記憶體管理表示由主機作業系統在處理器112上執行的模組。

[0027] 如所說明，記憶體管理120包括處理器126。處理器126表示使得記憶體管理120能夠計算記憶體部分132之計數或權重的硬體處理資源。在一個實施例中，處理器126爲處理器112或該處理器之部分。在一個實施例中，處理器126執行逐出演算法。處理器126表示使得記憶體管理120能夠計算資訊之計算硬體，該資訊用以判定哪一記憶體部分132回應於逐出觸發而逐出。因此，在一個實施例中，處理器126可被稱作逐出處理器，從而指計算用以選擇逐出候選者的計數或權重。

[0028] 記憶體管理120使來自記憶體130之逐出或調換至少部分基於對針對特定逐出候選者之關聯代理114的成本。因此，記憶體管理120較佳地將逐出或調換出低成本頁面。在潛時約束系統中，使高成本與對於記憶體部分(例如，頁面)之未命中將引起更顯著之效能命中的該記憶體部分相關聯。因此，若記憶體部分被逐出且後續請求需要該記

憶體部分再次進行存取，則在記憶體部分相較於另一記憶體部分引起更大延遲情況下，其將對效能具有更顯著影響。

[0029]在一個實施例中，成本與應用程式支援請求中之平行度的量成比例。某些記憶體請求在能夠請求額外資料之前需要對某些資料的存取及操作，其增加請求係串列的程度。一些記憶體請求可與其他請求並行地進行，或其在存取另一部分之前並非取決於關於該記憶體部分的操作。因此，並行請求相對於潛時可具有較低成本，且串列請求具有較高潛時成本。

[0030]考慮沿著記憶體階層傳遞之快速記憶體未命中的串流。記憶體管理120可沿著記憶體階層來發送並行快取未命中P1、P2、P3及P4。記憶體管理亦可發送串列快取未命中S1、S2及S3。並行快取未命中可沿著記憶體階層並行地發送，且因此共享快取未命中的成本(亦即，良好地隱藏記憶體潛時)。對比而言，串列未命中將沿著記憶體階層串列地發送，且不可共享潛時。因此，串列未命中對於記憶體潛時爲更敏感的，從而使得由此等未命中存取之快取記憶體區塊相較於由並行未命中存取的彼等快取記憶體區塊更昂貴。

[0031]自記憶體130之層級，若頁面故障(對於SLM)或頁面未命中(對於MLM)發生，則頁面故障/未命中在存在來自相同來源代理114的待決之許多請求的情況下可共享頁面故障或頁面調換的成本。具有低數目個請求之代理114對

於潛時將爲更敏感的。因此，具有較高記憶體層級平行度(MLP)之代理114可藉由發出許多請求至主記憶體130而隱藏潛時。與係較高MLP應用程式之此等代理114相關聯之部分或頁面132相較於係並不展示高層級MLP之應用程式(諸如指標追蹤應用程式)之代理114較不昂貴的以進行替換。在MLP爲低時，代理發送較少並行請求至記憶體130，其使得程式對於潛時爲更敏感的。

[0032]類似於上文所描述的內容，記憶體管理120可藉由計算與每一部分132相關聯之成本或權重而實施成本感知替換。系統102說明具有佇列122之記憶體管理120。佇列122表示自代理114至記憶體130的待決記憶體存取請求。佇列122之深度對於不同實施爲不同的。佇列122之深度可影響哪一比例因數α(或對於不同權重計算相等)應用以將基於成本之貢獻添加至權重。在本文中所描述之一個實施例中，表達逐出計數可用以指包括成本部分的針對記憶體部分計算之值或權重。在一個實施例中，記憶體管理120實施上述等式，其中權重計算爲新近度資訊與成本之按比例縮放版本的總和。如先前所描述，在一個實施例中，成本因數根據針對系統102之架構的經訓練資訊而按比例縮放。應理解，實例並不表示記憶體管理120可實施成本感知逐出/替換的所有方式。經訓練資訊爲在系統之離線訓練期間收集之資訊，其中系統在不同負載、組配及/或操作下進行測試，以識別預期之效能/行爲。因此，可使得成本因數根據針對特定架構或其他條件觀測到之效能而按比例縮放。

[0033]新近度資訊可包括某一記憶體部分132由關聯代理114新近如何進行存取的指示。用於保持新近度資訊之技術在此項技術中諸如用於LRU(最早利用)或MRU(最新近使用)實施中之技術或類似技術中得到理解。在一個實施例中，新近度資訊可被視爲一類型之存取歷史資訊。舉例而言，存取歷史可包括最後存取記憶體部分之時間的指示。在一個實施例中，存取歷史可包括已存取記憶體部分之頻度的指示。在一個實施例中，存取歷史可包括指示記憶體部分最後使用之時間以及已使用了記憶體部分之頻度(例如，記憶體部分多「熱」)兩者的資訊。其他形式之存取歷史已知曉。

[0034]在一個實施例中，記憶體管理120可基於系統102之實施而動態地調整比例因數α。舉例而言，記憶體管理120可進行不同形式之預取。在一個實施例中，回應於預取中不同位準之加強，記憶體管理120可調整用以計算成本之比例因數α以判定逐出候選者。舉例而言，加強預取可以記憶體位準提供MLP的錯誤顯現。

[0035]在一個實施例中，記憶體管理120包括佇列122中之資料，其包括對仍未由應用程式請求之資料的請求，但其被預期爲在所請求資料之後於近期被需要。在一個實施例中，記憶體管理120在計算用以判定逐出候選者之權重或計數時忽略預取請求。因此，記憶體管理120可出於計算成本之目的而處置預取請求作爲請求，或出於計算成本之目的而可忽略預取請求。可較佳的是在系統102包括良好訓

練預取器情況下使記憶體管理120在計算權重時考慮預取請求。

[0036]應理解，某些代理114可爲具有記憶體參考之低計數的CPU(中央處理單元)繫結應用程式。在一個實施例中，此等代理將被感知爲具有低MLP，其可導致高成本。然而，藉由在計數或權重中包括新近度因數，亦應理解，此等CPU繫結應用程式可具有低新近度組件，其可使高成本之影響偏移。在一個實施例中，權重或計數爲包括一值之計數，該值指示記憶體部分132最近如何被讀取。

[0037]在一個實施例中，表124表示由記憶體管理120維持以管理逐出的資訊。在不同實施中，表124可被稱作逐出表、權重表、逐出候選者表或其他。在一個實施例中，表124包括針對在記憶體130中快取之每一記憶體部分132的計數或權重。在一個實施例中，可參考「儲存」某些頁面之記憶體管理120或資料的記憶體部分132。應理解，記憶體管理120不必爲記憶體之儲存實際資料的部分。然而，此陳述表達記憶體管理120可包括表124及/或其他機構以追蹤儲存於記憶體130中之資料元素的事實。另外，當項目由記憶體管理120自監視被移除時，資料在記憶體130中經覆寫，或至少使得資料可用於被覆寫。

[0038]在一個實施例中，記憶體管理120藉由使成本計數器遞增1/N來計算成本因數或權重之成本分量，其中N爲針對與該部分相關聯之來源代理114當前排入佇列之並行請求的數目。在一個實施例中，記憶體管理對於與記憶體

130相關聯之時脈之每一時脈循環使成本遞增達1/N。因此，例如，考慮對於此實例標記爲代理0及代理1的兩個代理114。假設代理0具有佇列122中待決之單一請求。進一步假設代理1具有佇列122中待決之100個請求。若代理必須等待100個時脈循環用於資料自快取未命中的傳回，則代理0及代理1兩者將看到100個循環。然而，代理1具有100個待決請求，且因此潛時可被看作每請求實際上大致1個循環，且代理0可見每請求大致100個循環的有效性。應理解，可使用不同計算。雖然可使用不同計算，但在一個實施例中，記憶體管理120計算指示來源代理114隱藏潛時之能力的成本因數，或在系統102之操作中歸因於等待對記憶體存取請求之服務的潛時。

[0039] 圖1B爲藉由基於成本之因數於記憶體控制器處實施記憶體逐出之系統的實施例之方塊圖。系統104表示記憶體子系統之組件，且可爲根據圖1A之系統102的系統之一個實例。系統104與102之間的相同參考數字可理解爲識別類似組件，且以上描述內容可同樣良好地應用於此等組件。

[0040] 在一個實施例中，系統104包括記憶體控制器，該記憶體控制器爲控制對記憶體130之存取的電路或晶片。在一個實施例中，記憶體130爲DRAM裝置。在一個實施例中，記憶體130表示多個DRAM裝置，諸如與記憶體控制器140相關聯的所有裝置。在一個實施例中，系統104包括多個記憶體控制器，每一記憶體控制器各自與一或多個記憶

體裝置相關聯。記憶體控制器140爲或包括記憶體管理120。

[0041]在一個實施例中，記憶體控制器140爲系統104之獨立組件。在一個實施例中，記憶體控制器140爲處理器112之部分。在一個實施例中，記憶體控制器140包括整合於主機處理器或主機系統單晶片(SoC)上的控制器或處理器電路。SoC可包括一個或多個處理器以及其他組件，諸如記憶體控制器140且可能一或多個記憶體裝置。在一個實施例中，系統104爲MLM系統，其中快取記憶體116表示靠近處理器112的小之依電性記憶體資源。在一個實施例中，快取記憶體116位於具有處理器112的晶片上。在一個實施例中，快取記憶體116爲具有處理器112之SoC的部分。對於快取記憶體116中之快取未命中，主機110發送請求至記憶體控制器140以用於對記憶體130的存取。

[0042]圖2爲在多層級記憶體系統中藉由基於成本之因數實施記憶體逐出之系統的實施例之方塊圖。系統200表示記憶體子系統之組件的多層級記憶體系統架構。在一個實施例中，系統200爲根據圖1A之系統102或圖1B之系統104的記憶體子系統之一個實例。系統200包括主機210、多層級記憶體220以及儲存器240。主機210表示MLM 220之記憶體裝置儲存資料及/或程式碼的硬體及軟體平台。主機210包括處理器212以在系統200內執行操作。由處理器212進行的操作產生對儲存於MLM 220中之資料的請求。代理214表示由處理器212執行之程式或來源代理，且其執行產生來

自MLM 220之對資料的請求。儲存器240爲資料載入至MLM 220中以供主機210執行的非依電性儲存資源。舉例而言，儲存器240可包括硬碟驅動器(HDD)、半導體磁碟機(SDD)、磁帶碟機，諸如快閃之非依電性記憶體裝置、NAND、PCM(相變記憶體)，或其他。

[0043] 記憶體230之N個層級中的每一者包括記憶體部分232及管理234。每一記憶體部分232爲在記憶體層級232內可定址的資料片段。在一個實施例中，每一層級230包括不同數目個記憶體部分232。在一個實施例中，層級230[0]被整合至處理器212上或整合至處理器212的SoC上。在一個實施例中，層級230[N-1]爲主系統記憶體(諸如SDRAM之多個頻道)，其在層級230[N-1]處之請求導致未命中情況下直接請求來自儲存器140之資料。

[0044] 在一個實施例中，每一記憶體層級230包括分離管理234。在一個實施例中，一或多個記憶體層級230處之管理234實施基於成本的逐出判定。在一個實施例中，每一管理234包括表或其他儲存器以維持儲存於彼記憶體層級220處之每一記憶體部分232的計數或權重。在一個實施例中，任何一或多個管理234(諸如，最高層級記憶體或主記憶體230[N-1]之管理234[N-1]慮及對儲存於記憶體之彼層級處的記憶體部分232之存取歷史以及如由平行度指示器指示的成本資訊。

[0045] 圖3爲基於具有LRU因數及基於成本之因數的計數而實施記憶體逐出的系統之實施例之方塊圖。系統300說

明記憶體子系統之組件，包括記憶體管理310及記憶體320。系統300可爲根據本文中所描述之任一實施例的記憶體子系統之一個實例。系統300可爲圖1A之系統102、圖1B之系統104或圖2之系統200的實例。在一個實施例中，記憶體320表示用於計算系統的主記憶體裝置。在一個實施例中，記憶體320儲存多個頁面322。每一頁面包括資料區塊，資料區塊可包括許多資料位元組。N個頁面322中之每一者可據稱爲係在記憶體320內可定址的。

[0046]在一個實施例中，記憶體管理310爲或包括管理來自記憶體320之頁面322之逐出的邏輯。在一個實施例中，記憶體管理310作爲管理程式碼在處理器上執行，該處理器經組配以執行記憶體管理。在一個實施例中，記憶體管理310由計算裝置中之主機處理器或主要處理器執行，系統300爲該計算裝置的部分。演算法312表示由記憶體管理310進行以實施逐出管理的邏輯操作。逐出管理可係根據關於維持計數或權重且判定逐出候選者以及關聯操作的本文中所描述之任一實施例。

[0047]在一個實施例中，演算法312經組配以根據上文所提供之等式來執行權重計算。在一個實施例中，記憶體管理310包括多個計數330以管理逐出候選者。計數330可爲經參考權重，或用以判定哪一頁面322是否應回應於觸發以進行逐出而被逐出的某其他計數。在一個實施例中，記憶體管理310包括針對記憶體320中每一頁面322的計數330。在一個實施例中，計數330包括兩個因數或兩個分量：LRU

因數332及成本因數334。

[0048] LRU因數332參考LRU計算或將每一頁面322之新近存取歷史考慮在內的其他計算。成本因數334參考計數或計算值或用以指示替換關聯頁面之相對成本的其他值。在一個實施例中，演算法312包括比例因數，其使得記憶體管理310能夠改變成本因數334對計數330之權重或作用。在一個實施例中，記憶體管理310保持用於計算LRU因數332的計數器(未具體展示)。舉例而言，在一個實施例中，每當關聯頁面322經存取時，記憶體管理310可用計數器之值更新LRU因數332。因此，較高數字可表示更新近使用。在一個實施例中，記憶體管理310使計數330遞增達一量，該量慮及與計數針對之頁面相關聯的來源代理之平行度的層級。舉例而言，成本因數334可包括增量，即爲一之每一時脈循環除以待決記憶體存取請求之數目。因此，較高數目可表示進行替換之較高成本。描述LRU因數332及成本因數334兩者之兩個實例，其中較高值指示保持特定記憶體頁面322的偏好。因此，記憶體管理310可經組配以逐出具有最低計數330的頁面。另外，熟習此項技術者應理解，所描述之每一因數或組件可替代地經定向爲負或減去或相加倒數，或進行其他操作從而使得具有最高計數330之頁面被逐出，該等其他操作將使得低數字指示待保持之偏好。

[0049] 圖4爲用於管理自記憶體裝置之逐出之程序的實施例之流程圖。程序400可爲根據本文中之記憶體管理之任何實施例實施的用於逐出管理之程序的一個實例。程序400

說明量測特定記憶體部分之成本以啓用成本感知逐出及替代之方式的一個實施例。

[0050]在一個實施例中，記憶體控制器接收對資料之請求，且將請求添加至記憶體控制器之待決佇列(402)。記憶體控制器可判定請求是否爲快取命中，或請求是否係針對已儲存於記憶體中的資料(404)。若請求爲命中(406之是分支)，則在一個實施例中，記憶體控制器可更新記憶體部分之存取歷史資訊(408)且服務並傳回資料(410)。

[0051]若請求爲未命中(406之否分支)，則在一個實施例中，記憶體控制器可自記憶體逐出記憶體部分以爲待載入至記憶體中之所請求部分留下空間。因此，所請求記憶體部分可觸發記憶體部分的逐出或替代。此外，記憶體控制器將存取所請求資料，且可使計數與新存取記憶體部分相關聯以供稍後判定後續逐出請求之逐出候選者使用。對於所請求之記憶體部分，在一個實施例中，記憶體控制器初始化新成本計數爲零(412)。初始化成本計數爲零可包括使成本計數與所請求記憶體部分相關聯且重設用於成本計數之記憶體或表項目的值。在一個實施例中，記憶體控制器可初始化計數爲非零值。

[0052]記憶體控制器自較高層級記憶體或自儲存器存取記憶體部分，且將其儲存於記憶體中(414)。在一個實施例中，記憶體控制器使成本計數或成本計數器與記憶體部分相關聯(416)。記憶體控制器亦可使記憶體部分與來源代理相關聯，該來源代理產生使得記憶體部分被加載的請求。

在一個實施例中，記憶體控制器對於每一時脈循環使成本計數或成本計數器遞增，記憶體部分儲存於記憶體中(418)。

[0053]爲了判定逐出候選者，在一個實施例中，記憶體控制器比較儲存於記憶體中之記憶體部分的計數(420)。計數或權重根據本文中所描述之任一實施例可包括存取歷史因數及基於成本的因數。在一個實施例中，記憶體控制器識別具有最低計數之記憶體部分爲替換候選者(422)。應理解，記憶體控制可經組配以識別具有另一極端計數(亦即，最低計數或任何極端值對應於最低成本)之記憶體部分爲逐出及替換/調換的候選者。記憶體控制器可接著逐出識別出之記憶體部分(424)。在一個實施例中，記憶體部分自記憶體的逐出可在存取新部分以服務或滿足使得逐出被觸發之請求之前可發生。

[0054]圖5爲用於選擇逐出候選者之程序的實施例之流程圖。程序500可爲根據本文中所描述之任一實施例的由記憶體管理進行以選擇用於替換或調換之候選者之程序的一個實例。在主機上執行之代理執行導致記憶體存取的操作(502)。主機產生由記憶體控制器或記憶體管理接收的記憶體存取請求(504)。記憶體管理判定請求是否導致快取命中(506)。若請求導致命中(508之是分支)，則記憶體管理可服務請求並將資料傳回至代理，其將保持正在執行(502)。

[0055]在一個實施例中，若請求導致未命中或故障(508之否分支)，則記憶體管理觸發資料自記憶體的逐出從而使

空間空閒以載入所請求資料(510)。在一個實施例中，記憶體管理回應於逐出觸發而計算針對經快取頁面的逐出計數。計算逐出計數可包括基於由針對關聯代理之成本因數調整的頁面之存取歷史或LRU計數而計算頁面的總權重(512)。在一個實施例中，記憶體管理保持每一頁面之歷史計數因數及針對每一代理的成本因數資訊。成本因數可接著在判定逐出哪一頁面時經存取並添加至每一頁面的計數。在一個實施例中，記憶體管理可首先單獨基於存取歷史或LRU資訊在預定數目個候選者中選出，且接著基於成本判定彼等候選者中之哪一者逐出。因此，逐出及替換可在多個層中實現。記憶體管理可識別最極端逐出計數(亦即，視系統組配而爲最低或最高計數)(514)，且逐出具有極端計數或權重的頁面(516)。

[0056] 圖6爲用於管理逐出計數之程序之實施例的流程圖。程序600可爲根據本文所描述之任一實施例的管理由記憶體管理使用以判定逐出或頁面替換/頁面調換之計數之程序的一個實例。結合處理對資料之請求，記憶體管理添加頁面至記憶體(602)。在一個實施例中，記憶體管理使頁面與在主機上執行之代理相關聯(604)。關聯代理爲其資料請求使得頁面被載入至記憶體中的代理。使代理與頁面關聯可包括表中之資訊或對頁面加標籤或使用其他後設資料。

[0057] 記憶體管理初始化頁面之計數，其中計數可包括存取歷史計數欄位及成本計數欄位(606)。舉例而言，欄位

可爲頁面的兩個不同表條目。在一個實施例中，使成本計數欄位與代理相關聯(且因此與針對該代理之所有待決頁面共享)，且在計算時將成本計數欄位添加至計數。記憶體管理可監視頁面並維持頁面及其他經快取頁面的計數(608)。

[0058]若存在存取計數事件以更新存取計數欄位(610之是分支)，則記憶體管理可遞增或以其他方式更新(例如，覆寫)存取計數欄位資訊(612)。存取事件可包括對關聯頁面的存取。當不存在存取計數事件(610之否分支)時，記憶體管理可繼續監視此等事件。

[0059]若存在成本計數事件以更新成本計數欄位(614之是分支)，記憶體管理可遞增或以其他方式更新(例如，覆寫)成本計數欄位資訊(616)。成本計數事件可包括計時器或時脈，從而循環或達成計數器經更新的經排程值。當不存在成本計數事件(610之否分支)時，記憶體管理可繼續監視此等事件。

[0060]在一個實施例中，記憶體管理更新經快取頁面的逐出計數，包括存取計數資訊及成本計數資訊(618)。記憶體管理使用逐出計數資訊來判定回應於逐出觸發逐出哪一經快取頁面(620)。在一個實施例中，用於更新或遞增計數資訊之計算機構以及用於判定逐出候選者的計數機構爲分離計算機構。

[0061]圖7爲可實施基於成本之逐出管理的計算系統之實施例的方塊圖。系統700表示根據本文中所描述之任何實

施例的計算裝置，且可爲膝上型電腦、桌上型電腦、伺服器、遊戲或娛樂控制系統、掃描儀、影印機、印表機、路由或開關裝置，或其他電子裝置。系統700包括處理器720，該處理器提供用於系統700之指令的處理、操作管理及執行。處理器720可包括任何類型之微處理器、中央處理單元(CPU)、處理核心或其他處理硬體以提供用於系統700之處理。處理器720控制系統700之整體操作，且可爲或包括一或多個可規劃通用或專用微處理器、數位信號處理器(DSP)、可規劃控制器、特殊應用積體電路(ASIC)、可規劃邏輯裝置(PLD)或類似者，或此等裝置之組合。

[0062] 記憶體子系統730表示系統700之主記憶體，且對於待由處理器720執行之程式碼或待在執行常式中使用之資料值提供暫時儲存。記憶體子系統730可包括一或多個記憶體裝置，諸如唯讀記憶體(ROM)、快閃記憶體、一或多個種類的隨機存取記憶體(RAM)，或其他記憶體裝置，或此等裝置之組合。記憶體子系統730儲存及代管作業系統(OS) 736外加其他，以對於系統700中之指令的執行提供軟體平台。另外，其他指令738自記憶體子系統730儲存及執行，以提供系統700之邏輯及處理。OS 736及指令738係由處理器720執行。記憶體子系統730包括記憶體裝置732，其中記憶體裝置儲存資料、指令、程式或其他項目。在一個實施例中，記憶體子系統包括記憶體控制器734，其爲用以產生及發出命令至記憶體裝置732的記憶體控制器。將理解，記憶體控制器734可爲處理器720之實體部分。

[0063]處理器720及記憶體子系統730耦接至匯流排/匯流排系統710。匯流排710爲表示任何一或多個分離實體匯流排、通訊線/介面及/或點對點連接之抽象概念，實體匯流排、通訊線/介面及/或點對點連接係藉由適當橋接器、配接器及/或控制器連接。因此，匯流排710可包括(例如)系統匯流排、周邊組件互連(PCI)匯流排、超傳輸或工業標準架構(ISA)匯流排、小型電腦系統介面(SCSI)匯流排、通用串列匯流排(USB)或電機電子工程師學會(IEEE)標準1394匯流排(通常被稱爲「火線」)中的一或多者。匯流排710之匯流排亦可對應於網路介面750中之介面。

[0064]系統700亦包括耦接至匯流排710的一或多個輸入/輸出(I/O)介面740、網路介面750、一或多個內部大容量儲存裝置760及周邊介面770。I/O介面740可包括使用者與系統700互動藉以之一或多個介面組件(例如，視訊、音訊，及/或文數字介接)。網路介面750爲系統700提供經由一或多個網路與遠端裝置(例如，伺服器、其他計算裝置)通訊之能力。網路介面750可包括乙太網路配接器、無線互連組件、USB(通用串列匯流排)，或其他基於有線或無線標準或專屬的介面。

[0065]儲存器760可爲或包括用於以非依電性方式儲存大量資料之任何習知媒體，諸如一或多個磁性、固態或基於光學之磁碟，或組合。儲存器760以持久性狀態保留程式碼或指令及資料762(亦即，值不管至系統700之電力的中斷而保留)。儲存器760可一般被視爲「記憶體」，儘管記憶體

730爲執行或操作記憶體以將指令提供至處理器720。儘管儲存器760係非依電性的，但記憶體730可包括依電性記憶體(亦即，資料之值或狀態在至系統700之電力中斷之情況下係不確定的)。

[0066] 周邊介面770可包括上文未特定提及之任何硬體介面。周邊裝置通常係指相依性地連接至系統700之裝置。相依性連接爲系統700提供操作執行所在之軟體及/或硬體平台且使用者互動藉由的連接。

[0067] 在一個實施例中，記憶體子系統730包括基於成本之管理器780，其可爲根據本文中所描述之任一實施例的記憶體管理。在一個實施例中，基於成本之管理器780爲記憶體控制器734的部分。管理器780保持並計算儲存於記憶體732中之每一頁面或其他記憶體部分的計數或權重。權重或計數包括針對每一頁面之成本資訊，其中成本指示對替換記憶體中之頁面的效能影響。成本資訊可包括頁面之存取歷史資訊或可與該存取歷史資訊組合。基於包括基於成本之資訊的計數或權重，管理器780可自記憶體732選擇針對逐出的候選者。

[0068] 圖8爲可實施基於成本之逐出管理的行動裝置之實施例的方塊圖。裝置800表示諸如計算平板、行動電話或智慧型手機、具備無線功能之電子閱讀器、可穿戴式計算裝置或其他移動裝置之行動計算裝置。應理解，組件中之某些得以大體展示，且並非此裝置之所有組件展示於裝置800中。

[0069]裝置800包括處理器810，該處理器進行裝置800之主要處理操作。處理器810可包括一或多個實體裝置，諸如微處理器、應用程式處理器、微控制器、可規劃邏輯裝置或其他處理構件。由處理器810進行之處理操作包括操作平台或作業系統之執行，在該平台或作業系統上執行應用程式及/或裝置功能。處理操作包括人類使用者或其他裝置之與I/O (輸入/輸出)相關的操作、與電源管理相關之操作，及/或與將裝置800連接至另一裝置相關的操作。處理操作亦可包括與音訊I/O及/或顯示I/O相關的操作。

[0070]在一個實施例中，裝置800包括音訊子系統820，該音訊子系統表示與將音訊功能提供至計算裝置相關聯的硬體(例如，音訊硬體及音訊電路)及軟體(例如，驅動程式、編碼解碼器)組件。音訊功能可包括揚聲器及/或頭戴式耳機輸出，以及麥克風輸入。用於此等功能之裝置可整合至裝置800中，或連接至裝置800。在一個實施例中，使用者藉由提供由處理器810接收及處理之音訊命令而與裝置800互動。

[0071]顯示子系統830表示提供視覺及/或觸覺顯示以供使用者與計算裝置互動的硬體(例如，顯示裝置)及軟體((例如，驅動程式)組件。顯示子系統830可包括顯示介面832，該顯示介面包括用以將顯示提供至使用者之特定螢幕或硬體裝置。在一個實施例中，顯示介面832包括與處理器810分離以進行關於顯示之至少某一處理的邏輯。在一個實施例中，顯示子系統830包括將輸出及輸入兩者提供至使用者

之觸控式螢幕裝置。在一個實施例中，顯示子系統830包括將輸出提供給使用者之高清晰度(HD)顯示器。高清晰度可指具有大致100 PPI(像素數/吋)或更大之像素密度之顯示器，且可包括諸如全HD(例如，1080p)、視網膜顯示器、4K(超高清晰度或UHD)或其他之格式。

[0072] I/O控制器840表示有關於與使用者之互動的硬體裝置及軟體組件。I/O控制器840可操作以管理爲音訊子系統820及/或顯示子系統830之部分的硬體。另外，I/O控制器840說明用於連接至裝置800之額外裝置的連接點，使用者可經由該連接點與系統互動。舉例而言，可附接至裝置800之裝置可包括麥克風裝置、揚聲器或立體聲系統、視訊系統或其他顯示裝置、鍵盤或小鍵盤裝置，或供諸如卡讀取器之特定應用程式或其他裝置使用的其他I/O裝置。

[0073] 如上文所提及，I/O控制器840可與音訊子系統820及/或顯示子系統830互動。舉例而言，經由麥克風或其他音訊裝置之輸入可提供用於裝置800之一或多個應用程式或功能的輸入或命令。另外，音訊輸出可替代顯示輸出或除顯示輸出之外而提供。在另一實例中，若顯示子系統包括觸控式螢幕，則顯示裝置亦充當輸入裝置，其可至少部分地由I/O控制器840管理。在裝置800上亦可存在額外按鈕或開關，以提供由I/O控制器840管理之I/O功能。

[0074] 在一個實施例中，I/O控制器840管理裝置，諸如加速度計、攝影機、光感測器或其他環境感測器、陀螺儀、全球定位系統(GPS)，或可包括於裝置800中之其他硬體。

輸入可爲直接使用者互動之部分，以及將環境輸入提供至系統以影響系統之操作(諸如，對雜訊濾波、針對亮度偵測調整顯示、將閃光燈應用於攝影機，或其他特徵)。在一個實施例中，裝置800包括管理電池電力使用、電池充電及有關於電力節約操作之特徵的電力管理850。

[0075]記憶體子系統860包括用於將資訊儲存於裝置800中之記憶體裝置862。記憶體子系統860可包括非依電性(狀態在至記憶體裝置之電力中斷之情況下並不改變)及/或依電性(狀態在至記憶體裝置之電力中斷的情況下係不確定的)記憶體裝置。記憶體860可儲存應用程式資料、使用者資料、音樂、照片、文獻或其他資料，以及有關於系統800之應用程式及功能之執行的系統資料(不論係長期的抑或暫時的)。在一個實施例中，記憶體子系統860包括記憶體控制器864 (其亦可被視爲系統800之控制的部分，且可能被視爲處理器810之部分)。記憶體控制器864包括一排程器以產生命令及發出命令至記憶體裝置862。

[0076]連接性870包括硬體裝置(例如，無線及/或有線連接器及通訊硬體)及軟體組件(例如，驅動程式、協定堆疊)以使得裝置800能夠與外部裝置通訊。外部裝置可爲分離裝置，諸如其他計算裝置、無線存取點或基地台，以及諸如耳機、印表機或其他裝置之周邊裝置。

[0077]連接性870可包括多個不同類型之連接性。概括而言，裝置800經說明爲具有蜂巢式連接性872及無線連接性874。蜂巢式連接性872一般係指由無線載體提供之蜂巢

式網路連接性，諸如經由GSM(全球行動通訊系統)或變化或衍生物、CDMA(分碼多重存取)或變化或衍生物、TDM(分時多工)或變化或衍生物、LTE(長期演進，亦被稱作「4G」)或其他蜂巢式服務標準所提供的。無線連接性874指非蜂巢式之無線連接性，且可包括個人區域網路(諸如，藍芽)、區域網路(諸如，WiFi)，及/或廣域網路(諸如，WiMax)，或其他無線通訊。無線通訊係指資料經由使用經調變電磁輻射穿過非固態媒體之傳送。有線通訊經由固態通訊媒體發生。

[0078] 周邊連接880包括硬體介面及連接器，以及軟體組件(例如，驅動程式、協定堆疊)以進行周邊連接。應理解，裝置800可既爲至其他計算裝置之周邊裝置(「至」882)，又具有連接至裝置800之周邊裝置(「自」884)。裝置800通常具有「對接」連接器，以出於諸如管理(例如，下載及/或上載、改變、同步)裝置800上之內容的目的而連接至其他計算裝置。另外，對接連接器可允許裝置800連接至允許裝置800控制(例如)至視聽或其他系統之內容輸出的某些周邊裝置。

[0079] 除專屬對接連接器或其他專屬連接硬體外，裝置800亦可經由共同或以標準爲基礎之連接器來進行周邊連接880。常用類型可包括通用串列匯流排(USB)連接器(其可包括多個不同硬體介面中之任一者)、包括微型顯示埠(MDP)之顯示埠、高清晰度多媒體介面(HDMI)、火線或其他類型。

[0080]在一個實施例中，記憶體子系統860包括基於成本之管理器866，其可爲根據本文中所描述之任一實施例的記憶體管理。在一個實施例中，基於成本之管理器866爲記憶體控制器864之一部分。管理器7866保持並計算針對儲存於記憶體862中之每一頁面或其他記憶體部分的計數或權重。權重或計數包括針對每一頁面之成本資訊，其中成本指示對替換記憶體中之頁面的效能影響。成本資訊可包括頁面之存取歷史資訊或可與該存取歷史資訊組合。基於包括基於成本之資訊的計數或權重，管理器866可自記憶體862選擇針對逐出的候選者。

[0081]在一個態樣中，一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出的方法包括：初始化針對一記憶體裝置中的多個記憶體部分中之一者的一計數，包括使該計數與存取該一個記憶體部分之一來源代理相關聯；基於由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數，其中該動態成本因數表示對該來源代理替換該記憶體部分之效能的一潛時影響；以及比較該計數與針對該等多個部分中之其他部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。

[0082]在一個實施例中，其中記憶體裝置包含一主機系統的一主記憶體資源。在一個實施例中，其中該比較包含與一記憶體控制器裝置進行比較。在一個實施例中，其中初始化該計數包含回應於自一較低層級記憶體請求資料接

收到一請求而初始化該計數。在一個實施例中，其中比較該計數進一步包含針對逐出識別該等多個記憶體部分中之具有一最低成本的一個記憶體部分。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

[0083]在一個態樣中，一種記憶體管理裝置包括：一佇列，其用以儲存針對對由該記憶體管理裝置管理之一記憶體裝置的存取之請求；一逐出表，其用以儲存與該記憶體裝置之多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重，該等多個記憶體部分中之每一者具有產生對儲存於該記憶體部分中之資料之請求的一關聯來源代理，其中每一權重基於該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而作爲因數，該成本因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以及一逐出處理器，其經組配以初始化針對該等記憶體部分中之一者的一計數；基於對由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數；以及比較該計數與該等多個記憶體部分中之其他記憶體部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。

[0084]在一個實施例中，其中該記憶體裝置包含一主機

系統之一DRAM(動態隨機存取記憶體)資源。在一個實施例中，其中逐出處理器包含記憶體控制器裝置之處理器。在一個實施例中，其中該DRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。在一個實施例中，其中該逐出處理器識別具有進行逐出之一最低成本的該記憶體部分。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

[0085]在一個態樣中，一種具有一記憶體子系統之電子裝置包括：一SDRAM(同步動態隨機存取記憶體)，其包括用以儲存多個記憶體部分的一記憶體陣列，該等多個記憶體部分中之每一者具有產生針對儲存於該SDRAM中之資料之請求的一關聯來源代理，其中每一權重基於對該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而計算，該成本因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以及一記憶體控制器，其用以控制對該SDRAM之存取，該記憶體控制器包括一佇列，其用以儲存針對對該SDRAM之存取的請求；一逐出表，其用以儲存與多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重；以及一逐出處理器，其經組配以初始化針對該等記憶體部分中之一者的一計數；基於對由

該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分之存取而調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數；以及比較該計數與該等多個記憶體部分中之其他記憶體部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出；以及一觸控式螢幕顯示器，其經耦接以基於自該SDRAM存取之資料產生一顯示。

[0086]在一個實施例中，其中該記憶體控制器包含整合至一主機處理器系統單晶片(SoC)上的一記憶體控制器電路。在一個實施例中，其中SDRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器用以回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。在一個實施例中，其中該逐出處理器用以針對逐出而識別具有一最低計數的該記憶體部分。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

[0087]在一個態樣中，一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出的方法包括：偵測記憶體裝置中之逐出觸發，其中逐出觸發指示多個記憶體部分中之一者應自記憶體裝置移除，每一記憶體部分具有關聯權重及產生對儲存於記憶體部分中之資料之請求的關聯來源代理；識別具有最極端權重之記憶體部分，其中每一權重基於針對記憶體部分之存

取歷史而計算且由成本因數而調整，該成本因數指示對替換記憶體部分之關聯來源代理的潛時影響；以及用觸發逐出之記憶體部分替換識別爲具有最極端權重的記憶體部分。

[0088]在一個實施例中，其中記憶體裝置包含一主機系統的一主記憶體資源。在一個實施例中，其中偵測逐出觸發包含藉由記憶體控制器偵測逐出觸發。在一個實施例中，其中偵測逐出觸發包含自較低層級記憶體請求資料接收請求，該請求引起記憶體裝置中的未命中。在一個實施例中，其中識別具有最極端權重之記憶體部分包含識別具有最低成本之記憶體部分以逐出。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

[0089]在一個態樣中，一種記憶體管理裝置包括：一佇列，其用以儲存針對對由該記憶體管理裝置管理之一記憶體裝置的存取之請求；一逐出表，其用以儲存與該記憶體裝置之多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重，該等多個記憶體部分中之每一者具有產生對儲存於該記憶體部分中之資料之請求的一關聯來源代理，其中每一權重基於該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而作爲因數，該成本因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以及一逐出處理器，其經組配以偵測逐出觸發，

該逐出觸發指示多個記憶體部分中之一者應自記憶體裝置移除；識別逐出表中具有最極端權重之記憶體部分；以及用觸發逐出之記憶體部分替換識別爲具有最極端權重的記憶體部分。

[0090]在一個實施例中，其中記憶體裝置包含一主機系統之一DRAM(動態隨機存取記憶體)資源。在一個實施例中，其中逐出處理器包含記憶體控制器裝置之處理器。在一個實施例中，其中該DRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。在一個實施例中，其中該逐出處理器識別具有進行逐出之一最低成本的該記憶體部分。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

[0091]在一個態樣中，一種具有一記憶體子系統之電子裝置包括：一SDRAM(同步動態隨機存取記憶體)，其包括用以儲存多個記憶體部分的一記憶體陣列，該等多個記憶體部分中之每一者具有產生針對儲存於該SDRAM中之資料之請求的一關聯來源代理，其中每一權重基於對該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而計算，該成本因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以

及一記憶體控制器，其用以控制對該SDRAM之存取，該記憶體控制器包括一佇列，其用以儲存針對對該SDRAM之存取的請求；一逐出表，其用以儲存與多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重；以及一逐出處理器，其經組配以偵測逐出觸發，該逐出觸發指示多個記憶體部分中之一者應自SDRAM移除；識別逐出表中具有最極端權重之記憶體部分；以及用觸發逐出之記憶體部分替換識別爲具有最極端權重的記憶體部分；以及一觸控式螢幕顯示器，其經耦接以基於自該SDRAM存取之資料產生一顯示。

[0092]在一個實施例中，其中該記憶體控制器包含整合至一主機處理器系統單晶片(SoC)上的一記憶體控制器電路。在一個實施例中，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。在一個實施例中，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。在一個實施例中，其中SDRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器用以回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。在一個實施例中，其中該逐出處理器識別具有進行逐出之一最低成本的該記憶體部分。

[0093]在一個態樣中，一種包含電腦可讀儲存媒體之製品，該電腦可讀儲存媒體具有儲存於其上的內容，該內容在經存取時使得計算裝置進行用於管理來自記憶體裝置之

逐出的操作，該等操作包括：初始化針對一記憶體裝置中的多個記憶體部分中之一者的一計數，包括使該計數與存取該一個記憶體部分之一來源代理相關聯；基於由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數，其中該動態成本因數表示對該來源代理替換該記憶體部分之效能的一潛時影響；以及比較該計數與針對該等多個部分中之其他部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。關於用於管理來自記憶體裝置之逐出之方法描述的任何實施例亦可應用至製品。

[0094] 在一個態樣中，一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出的設備包括：用於初始化針對一記憶體裝置中的多個記憶體部分中之一者的一計數之構件，包括用於使該計數與存取該一個記憶體部分之一來源代理相關聯的構件；用於基於由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數之構件；用於基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數而調整該計數的構件，其中該動態成本因數表示對該來源代理替換該記憶體部分之效能的一潛時影響；以及用於比較該計數與針對該等多個部分中之其他部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出的構件。關於用於管理來自記憶體裝置之逐出之方法描述的任何實施例亦可應用至設備。

[0095] 在一個態樣中，一種包含電腦可讀儲存媒體之製

品，該電腦可讀儲存媒體具有儲存於其上的內容，該內容在經存取時使得計算裝置進行用於管理來自記憶體裝置之逐出的操作，該等操作包括：偵測記憶體裝置中之逐出觸發，其中逐出觸發指示多個記憶體部分中之一者應自記憶體裝置移除，每一記憶體部分具有關聯權重及產生對儲存於記憶體部分中之資料之請求的關聯來源代理；識別具有最極端權重之記憶體部分，其中每一權重基於針對記憶體部分之存取歷史而計算且由成本因數而調整，該成本因數指示對替換記憶體部分之關聯來源代理的潛時影響；以及用觸發逐出之記憶體部分替換識別爲具有最極端權重的記憶體部分。關於用於管理來自記憶體裝置之逐出之方法描述的任何實施例亦可應用至製品。

[0096] 在一個態樣中，一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出的設備包括：用於偵測記憶體裝置中之逐出觸發之構件，其中逐出觸發指示多個記憶體部分中之一者應自記憶體裝置移除，每一記憶體部分具有關聯權重及產生對儲存於記憶體部分中之資料之請求的關聯來源代理；用於識別具有最極端權重之記憶體部分的構件，其中每一權重基於針對記憶體部分之存取歷史而計算且由成本因數而調整，該成本因數指示對替換記憶體部分之關聯來源代理的潛時影響；以及用於用觸發逐出之記憶體部分替換識別爲具有最極端權重的記憶體部分的構件。關於用於管理來自記憶體裝置之逐出之方法描述的任何實施例亦可應用至設備。

[0097] 如本文中說明的流程圖提供各種程序動作之序

列的實例。該等流程圖可指示待由軟體或韌體常式執行之操作，以及實體操作。在一個實施例中，流程圖可說明有限狀態機(FSM)之狀態，該有限狀態機可以硬體及/或軟體來實施。儘管用特定順序或次序來展示，但除非另有指定，否則可修改該等動作之次序。因此，所說明之實施例應僅被理解爲實例，且程序可以不同次序進行，且某些動作可並行進行。另外，一或多個動作可在各種實施例中省略；因此，並非每個實施例中都需要所有動作。其它處理流程係可能的。

[0098]就本文中所描述之各種操作或功能而言，該等操作或功能可經描述或定義爲軟體程式碼、指令、組配及/或資料。內容可爲直接可執行(「物件」或「可執行物件」形式)、原始程式碼或差值程式碼(「△」或「修補」程式碼)。本文中所描述之實施例之軟體內容可經由上面儲存有內容之製品提供，或經由操作通訊介面以經由通訊介面發送資料之方法提供。機器可讀儲存媒體可使機器進行所描述之功能或操作，且包括以可由機器(例如，計算裝置、電子系統等)存取之形式儲存資訊之任何機制，諸如可記錄/非可記錄媒體(例如，唯讀記憶體(ROM)、隨機存取記憶體(RAM)、磁碟儲存媒體、光學儲存媒體、快閃記憶體裝置等)。通訊介面包括介接至固線式、無線、光學等媒體中之任一者以傳達至另一裝置的任何機制，諸如記憶體匯流排介面、處理器匯流排介面、網際網路連接、磁碟控制器等。可藉由提供組配參數及/或發送信號以使通訊介面準備好提供描

述軟體內容之資料信號來組配通訊介面。可經由發送至通訊介面之一或多個命令或信號來存取通訊介面。

[0099]本文中所描述之各種組件可爲用於進行所描述之操作或功能的構件。本文中所描述之每一組件包括軟體、硬體或此等之組合。該等組件可實施爲軟體模組、硬體模組、專用硬體(例如，特殊應用硬體、特殊應用積體電路(ASIC)、數位信號處理器(DSP)等)、內嵌型控制器、固線式電路等。

[0100]除本文所描述之內容外，亦可對本發明的所揭示之實施例及實施進行各種修改而不脫離該等實施例及實施之範疇。因此，本文中之說明及實例應以例示性而非限制性意義來解釋。本發明之範疇應藉由參考下文之申請專利範圍單獨地量測。

## 【符號說明】

102、104、200、300、700...系統

110、210...主機

112、212、126、720、810...處理器

114、214...代理

116...快取記憶體

120、310...記憶體管理

122...佇列

124...表

130、732、862...記憶體裝置

132...記憶體之部分

322...頁面

140、734、864...記憶體控制器

220...多層級記憶體

230、320...記憶體

230[0]、230[N-1]...層級

232...記憶體部分/記憶體層級

234、234[N-1] ...管理

240...儲存器

312...演算法

330...計數

332...LRU因數

334...成本因數

400、500、600...程序

710...匯流排/匯流排系統

730、860...記憶體子系統

736...作業系統(OS)

738...其他指令

740...輸入/輸出(I/O)介面

750...網路介面

760...內部大容量儲存裝置

762...程式碼或指令及資料

770...周邊介面

780、866...基於成本之管理器

800...裝置

820...音訊子系統

830...顯示子系統

832...顯示介面

840...I/O控制器

850...電力管理

870...連接性

872...蜂巢式連接性

874...無線連接性

880...周邊連接

882...「至」

884...「自」

# 申請專利範圍

1. 一種用於管理來自一記憶體裝置之逐出之方法，其包含以下步驟：

初始化針對在一記憶體裝置中的多個記憶體部分中之一者的一計數，包括使該計數與存取該一個記憶體部分之一來源代理相關聯；

基於藉由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取而調整該計數；

基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數來調整該計數，其中該動態成本因數表示對該來源代理替換該記憶體部分之效能的一潛時影響；以及

比較該計數與針對該等多個部分中之其他部分的計數以判定哪一記憶體部分回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。

2. 如請求項1之方法，其中該記憶體裝置包含用於一主機系統的一主記憶體資源。

3. 如請求項2之方法，其中該比較包含與一記憶體控制器裝置進行比較。

4. 如請求項2之方法，其中初始化該計數包含回應於自一較低層級記憶體請求資料接收到一請求來初始化該計數。

5. 如請求項1之方法，其中比較該計數進一步包含識別針對該等多個記憶體部分中之具有一最低成本的一個被

逐出記憶體部分。

6. 如請求項5之方法，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。

7. 如請求項1之方法，其中該成本因數可由一比例因數動態調整以提供或多或少之權重至該成本因數。

8. 一種記憶體管理裝置，其包含：

一佇列，其用以儲存針對對由該記憶體管理裝置管理之一記憶體裝置的存取之請求；

一逐出表，其用以儲存與該記憶體裝置之多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重，該等多個記憶體部分中之每一者具有一關聯來源代理，其產生對儲存於該記憶體部分中之資料的請求，其中每一權重基於該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而作爲因數，該成本因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以及

一逐出處理器，其經組配以初始化針對該等記憶體部分中之一者的一計數；基於藉由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分的存取來調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數來調整該計數；以及比較該計數與該等多個記憶體部分中之其他記憶體部分的計數以判定哪一記憶體部分係回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出。

9. 如請求項8之記憶體管理裝置，其中該記憶體裝置包含

用於一主機系統之一DRAM(動態隨機存取記憶體)資源。

10. 如請求項9之記憶體管理裝置，其中該逐出處理器包含一記憶體控制器裝置之一處理器。

11. 如請求項9之記憶體管理裝置，其中該DRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器係用以回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。

12. 如請求項8之記憶體管理裝置，其中該逐出處理器係用以識別該記憶體部分具有一最低成本者而逐出。

13. 如請求項12之記憶體管理裝置，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。

14. 如請求項8之記憶體管理裝置，其中該成本因數係由一比例因數動態地調整以提供較多或較少權重至該成本因數。

15. 一種具有一記憶體子系統之電子裝置，其包含：

一SDRAM(同步動態隨機存取記憶體)，其包括用以儲存多個記憶體部分的一記憶體陣列，該等多個記憶體部分中之每一者具有一關聯來源代理，其產生針對儲存於該SDRAM中之資料的請求，其中每一權重基於對該記憶體部分之存取歷史以及一成本因數而計算，該成本

因數指示對該關聯來源代理替換該記憶體部分的一潛時影響；以及

一記憶體控制器，其用以控制對該SDRAM之存取，該記憶體控制器包括

一佇列，其用以儲存針對對該SDRAM之存取的請求；

一逐出表，其用以儲存與多個記憶體部分中之每一者相關聯的一權重；以及

一逐出處理器，其經組配以初始化針對該等記憶體部分中之一者的一計數；基於藉由該關聯來源代理進行之對該一個記憶體部分之存取來調整該計數；基於針對該關聯來源代理之一動態成本因數來調整該計數；以及比較該計數與該等多個記憶體部分中之其他記憶體部分的計數以判定哪一記憶體部分係回應於針對該記憶體裝置之一逐出觸發而逐出；以及

一觸控式螢幕顯示器，其經耦接以基於自該SDRAM存取之資料產生一顯示。

16. 如請求項15之電子裝置，其中該記憶體控制器包含整合至一主機處理器系統單晶片(SoC)上的一記憶體控制器電路。

17. 如請求項9之記憶體管理裝置，其中該SDRAM爲一多層級記憶體(MLM)系統之一最高層級記憶體，其中該逐出處理器係用以回應於一頁面故障而偵測該逐出觸發，該

頁面故障回應於服務來自該MLM之一快取記憶體之一請求而發生。

18. 如請求項15之電子裝置，其中該逐出處理器係用以識別針對該記憶體部分具有一最低計數之逐出。

19. 如請求項15之電子裝置，其中該成本因數包括相加至一最近最少使用(LRU)因數的一替換成本因數1/N，其中N爲該佇列中針對該關聯來源代理之當前待決的並行請求之一數目。

20. 如請求項15之電子裝置，其中該成本因數可由一比例因數動態地調整以提供較多或較少權重至該成本因數。

# 圖式

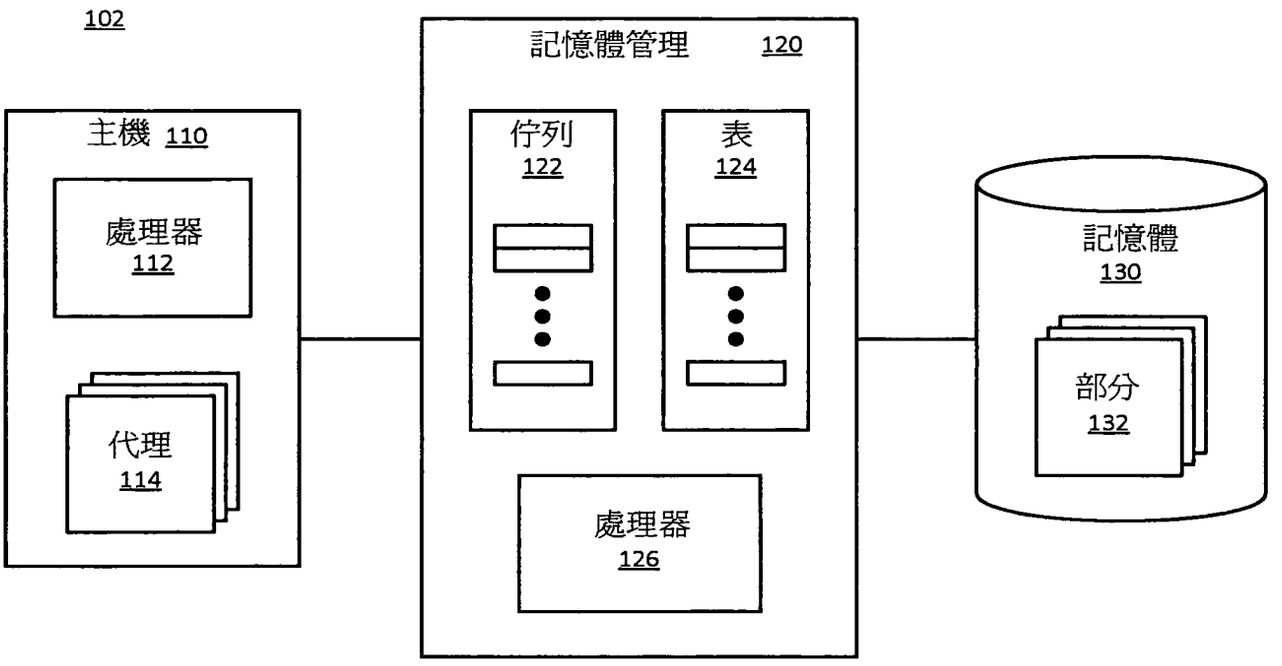

102
記憶體管理 120
主機 110
處理器 112
代理 114
佇列 122
表 124
處理器 126
記憶體 130
部分 132

圖1A

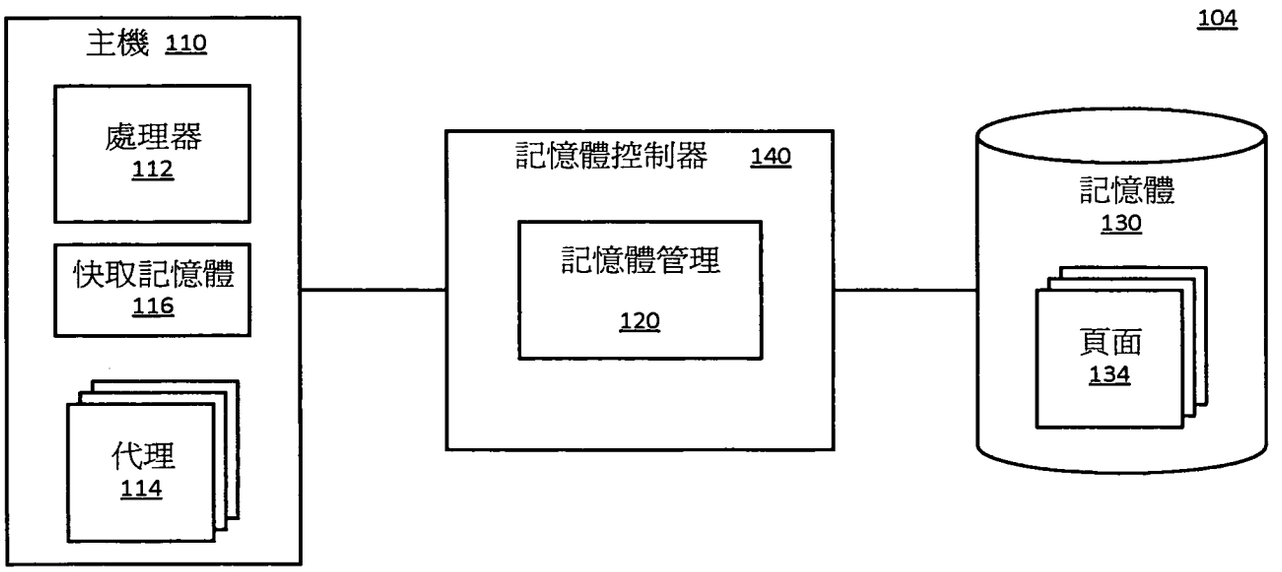

104
主機 110
處理器 112
快取記憶體 116
代理 114
記憶體控制器 140
記憶體管理 120
記憶體 130
頁面 134

圖1B

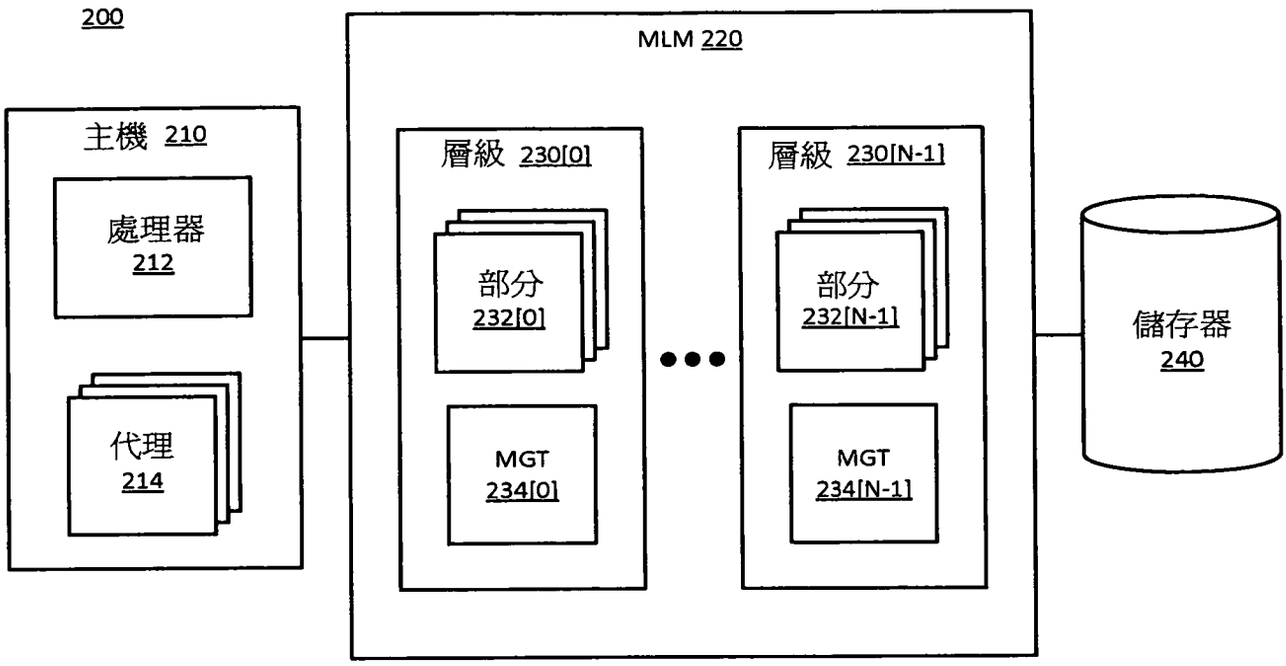

200
MLM 220
主機 210
處理器
212
代理
214
層級 230[0]
部分
232[0]
MGT
234[0]
層級 230[N-1]
部分
232[N-1]
MGT
234[N-1]
儲存器
240

圖2

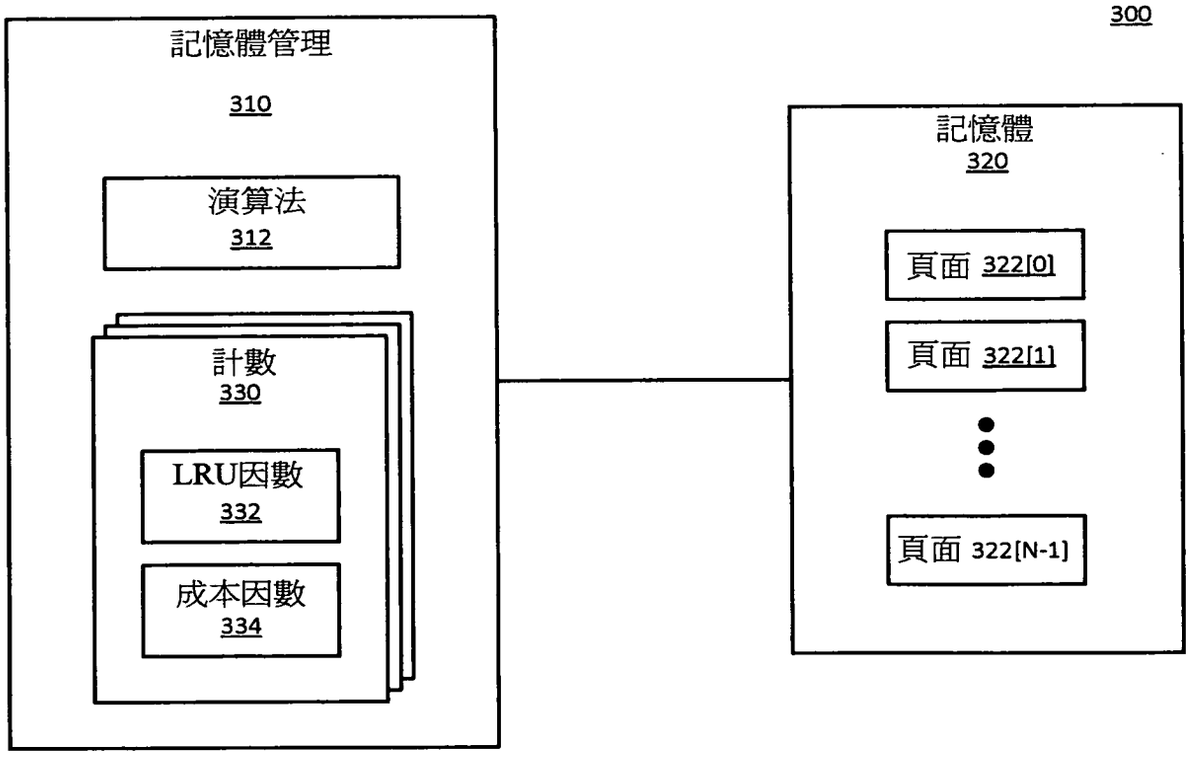

300
記憶體管理
310
演算法
312
計數
330
LRU因數
332
成本因數
334
記憶體
320
頁面 322[0]
頁面 322[1]
頁面 322[N-1]

圖3

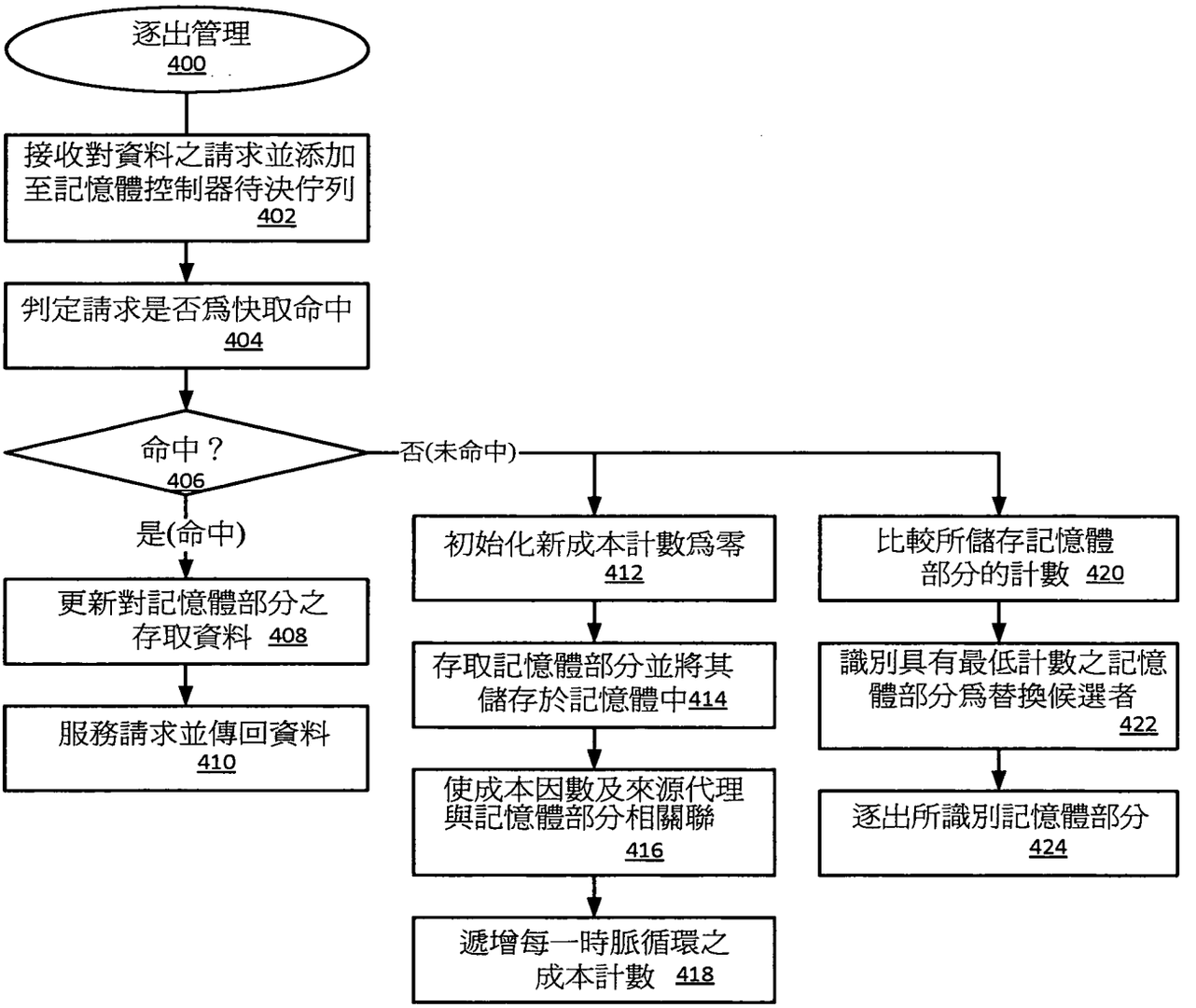

逐出管理
400
接收對資料之請求並添加至記憶體控制器待決佇列
402
判定請求是否爲快取命中
404
命中？
406
否(未命中)
是(命中)
更新對記憶體部分之存取資料 408
服務請求並傳回資料
410
初始化新成本計數爲零
412
存取記憶體部分並將其儲存於記憶體中414
使成本因數及來源代理與記憶體部分相關聯
416
遞增每一時脈循環之成本計數 418
比較所儲存記憶體部分的計數 420
識別具有最低計數之記憶體部分爲替換候選者
422
逐出所識別記憶體部分
424

圖4

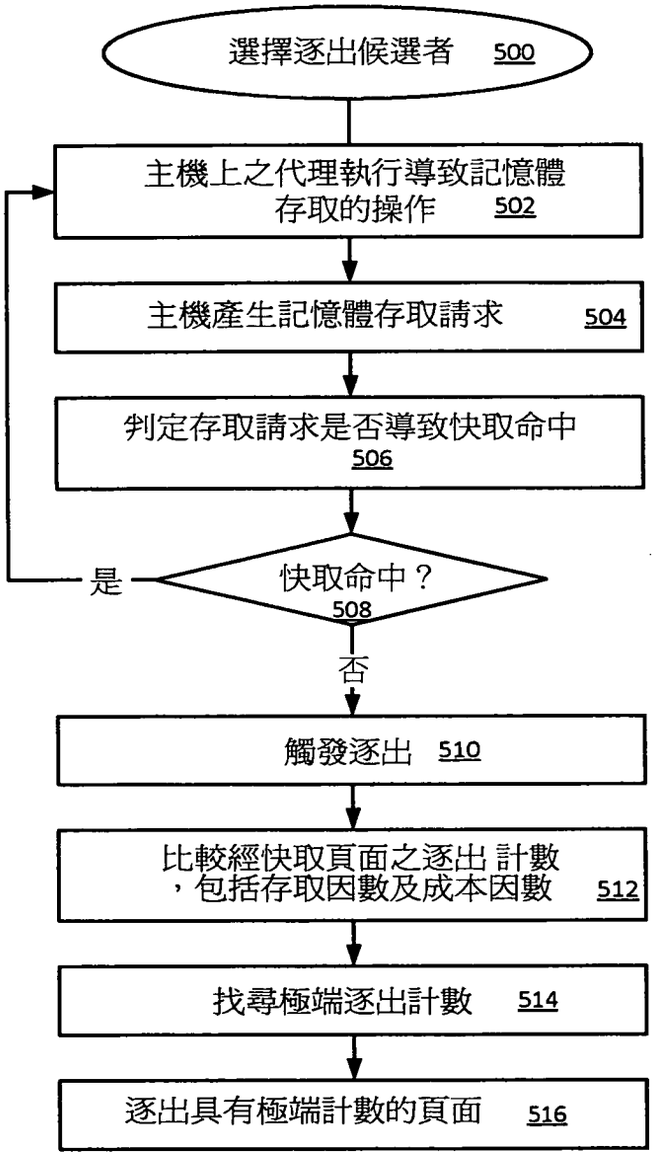

選擇逐出候選者 500
主機上之代理執行導致記憶體存取的操作 502
主機產生記憶體存取請求 504
判定存取請求是否導致快取命中 506
快取命中？ 508
是
否
觸發逐出 510
比較經快取頁面之逐出 計數，包括存取因數及成本因數 512
找尋極端逐出計數 514
逐出具有極端計數的頁面 516

圖5

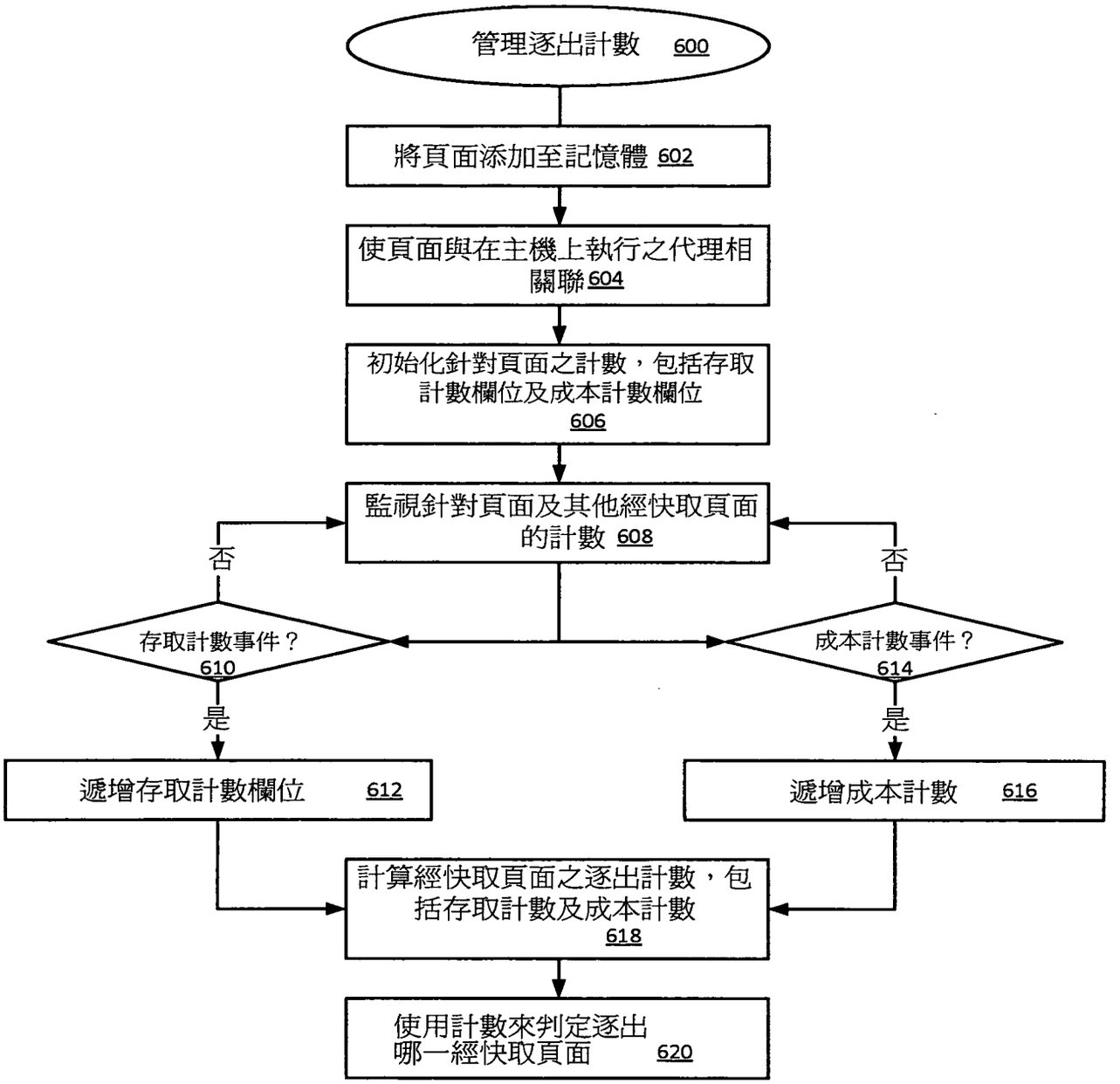

管理逐出計數 600
將頁面添加至記憶體 602
使頁面與在主機上執行之代理相關聯 604
初始化針對頁面之計數，包括存取計數欄位及成本計數欄位 606
監視針對頁面及其他經快取頁面的計數 608
否
否
存取計數事件？ 610
成本計數事件？ 614
是
是
遞增存取計數欄位 612
遞增成本計數 616
計算經快取頁面之逐出計數，包括存取計數及成本計數 618
使用計數來判定逐出哪一經快取頁面 620

圖6



5

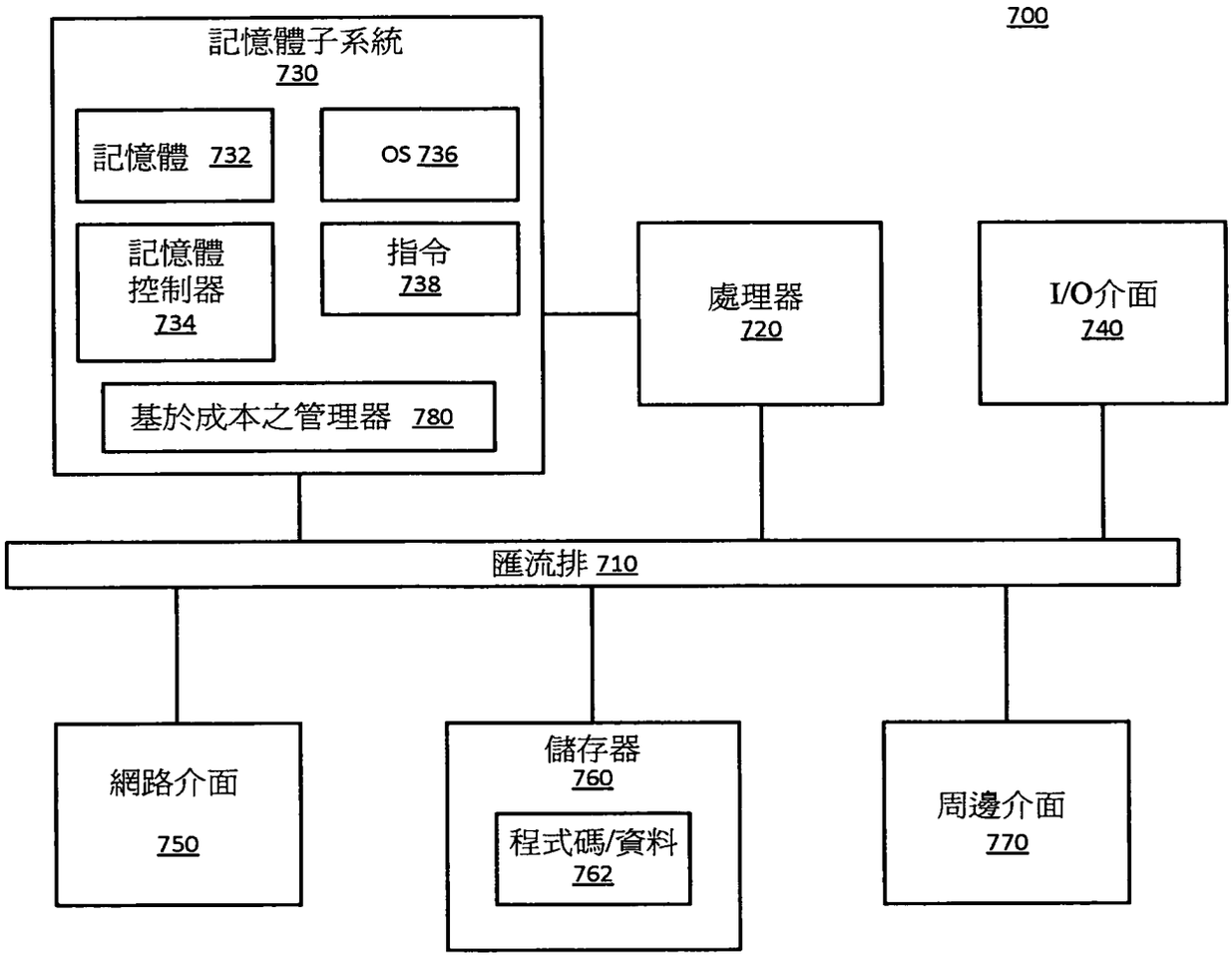

700
記憶體子系統
730
記憶體 732
OS 736
記憶體
控制器
734
指令
738
基於成本之管理器 780
處理器
720
I/O介面
740
匯流排 710
網路介面
750
儲存器
760
程式碼/資料
762
周邊介面
770

圖7

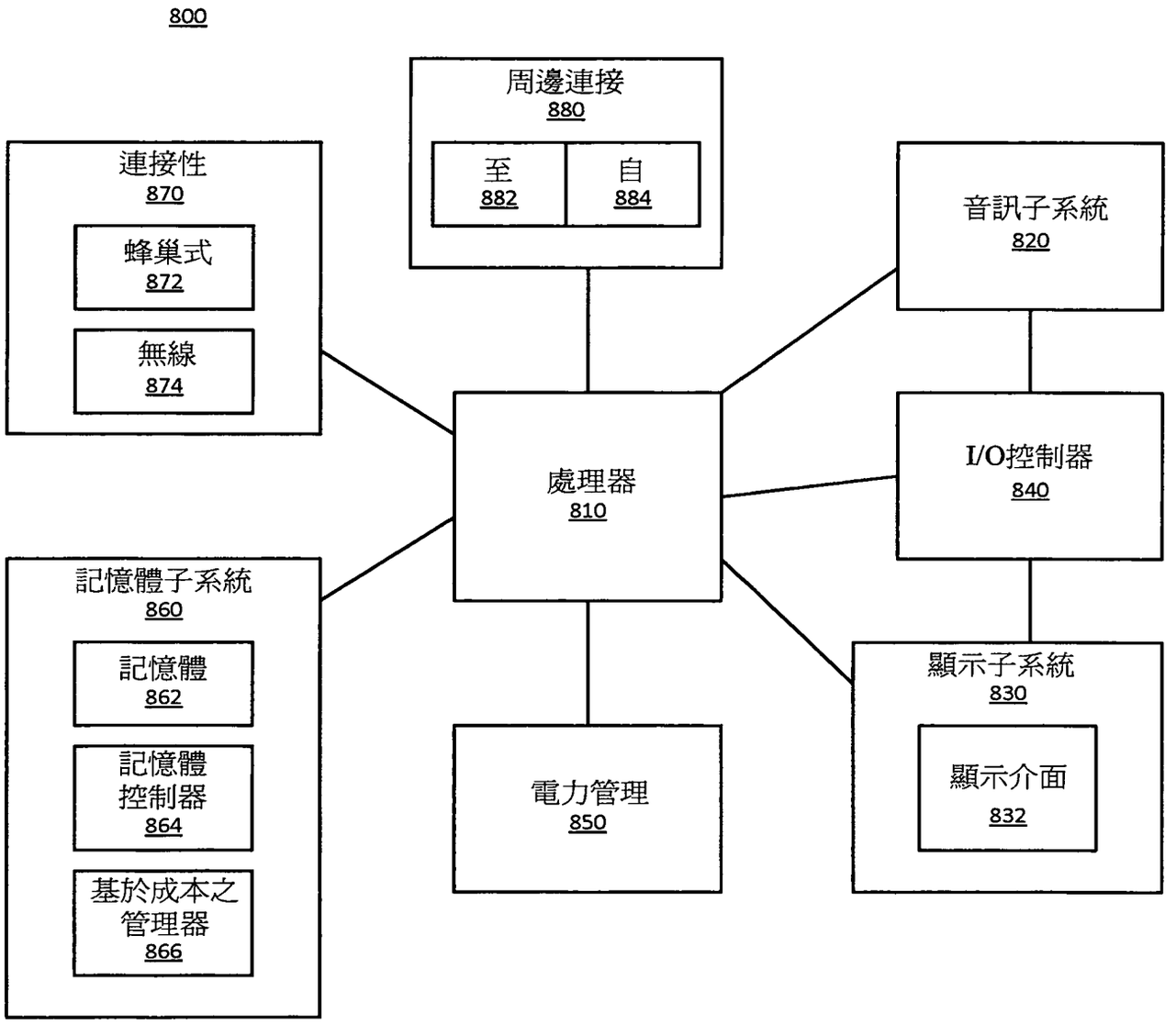

800
周邊連接
880
至
882
自
884
連接性
870
蜂巢式
872
無線
874
音訊子系統
820
處理器
810
I/O控制器
840
記憶體子系統
860
記憶體
862
記憶體
控制器
864
基於成本之
管理器
866
電力管理
850
顯示子系統
830
顯示介面
832

圖8