

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 347**

51 Int. Cl.:

G06F 12/1009 (2006.01)

G06F 12/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2014** **PCT/US2014/035036**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014** **WO14182443**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2014** **E 14728008 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 2994837**

54 Título: **Conjuntos de tablas de páginas de múltiples núcleos de campos de atributos**

30 Prioridad:

06.05.2013 US 201313888069

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

16.11.2017

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

**5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121, US**

72 Inventor/es:

**SHARP, COLIN, CHRISTOPHER y
SARTORIUS, THOMAS, ANDREW**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 642 347 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Conjuntos de tablas de páginas de múltiples núcleos de campos de atributos

- 5 **[0001]** Esta solicitud está relacionada con la solicitud de patente estadounidense n.º 13/565.434, presentada el 2 de agosto de 2012, cuyo contenido se incorpora como referencia.

CAMPO TÉCNICO

- 10 **[0002]** La presente divulgación se refiere en general a la informática y, más particularmente, se refiere a técnicas para la correlación de un espacio de direcciones de memoria virtual con un espacio de direcciones de memoria física.

ANTECEDENTES

- 15 **[0003]** Los sistemas informáticos típicos incluyen múltiples unidades de procesamiento, tales como unidades centrales de procesamiento (CPU) y unidades de procesamiento gráfico (GPU), que leen de y escriben en una memoria física. Las diversas unidades de procesamiento de un dispositivo pueden implementar esquemas de direccionamiento virtual de tal manera que las aplicaciones que están siendo ejecutadas por los clientes se pueden
20 asignar a un espacio de direcciones virtual contiguo sin tener que reservar un espacio de memoria físico contiguo. Cada unidad de procesamiento tiene típicamente una unidad de gestión de memoria (MMU) para traducir las direcciones de memoria virtual a direcciones físicas en la memoria física. Para realizar la correlación requerida de direcciones virtuales con direcciones físicas, cada MMU mantiene una tabla de páginas independiente en la memoria del sistema y cada una de estas tablas de páginas independientes puede tener un tamaño de varios megabytes. El
25 documento US2007/0168644 A1 divulga una tabla de páginas compartida por varias unidades de procesamiento y que comprende atributos de las unidades de procesamiento para las páginas de memorias.

RESUMEN

- 30 **[0004]** En general, las técnicas descritas en esta divulgación están relacionadas con dispositivos informáticos que implementan una correlación de direcciones virtuales con direcciones físicas. De acuerdo con las técnicas de esta divulgación, dos o más unidades de procesamiento pueden compartir una tabla de páginas común para correlacionar direcciones virtuales con direcciones físicas. Una primera unidad de procesamiento puede leer una
35 primera entrada de tabla de páginas para correlacionar la dirección virtual con una dirección física. Una segunda unidad de procesamiento puede leer la primera entrada de tabla de páginas y una segunda entrada de tabla de páginas adicional cuando se correlaciona desde la dirección virtual a la dirección física. La primera entrada de tabla única puede incluir atributos de la página de memoria asociada con la dirección de memoria física para la primera unidad de procesamiento. Las segundas entradas de tabla de páginas pueden incluir conjuntos de atributos adicionales que corresponden a los atributos de la misma dirección de memoria física para la segunda unidad de
40 procesamiento. Además, la primera entrada de tabla de páginas puede incluir datos que identifiquen la segunda entrada de tabla de páginas para las segundas unidades de procesamiento, que incluyen las entradas adicionales de tabla de páginas. Utilizando los múltiples conjuntos de campos de atributos, los atributos, que pueden comprender permisos de una página de memoria para la primera y segunda unidades de procesamiento, se pueden gestionar individualmente. Por ejemplo, las técnicas descritas en esta divulgación pueden permitir la gestión
45 individual de la lectura/escritura, ejecución, almacenamiento en caché y otros atributos y/o permisos de una página de memoria para la primera y segunda unidades de procesamiento.

- [0005]** Según un ejemplo, un aparato incluye una memoria que almacena una primera tabla de páginas que incluye una primera entrada de tabla de páginas, donde la primera entrada de tabla de páginas incluye, además, una
50 dirección física, una ubicación alternativa asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y una página física de memoria asociada con la dirección física. Una primera unidad de procesamiento está configurada para leer, desde la primera tabla de páginas, la dirección física, determinar primeros datos de atributos de página de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento y acceder a la página física de
55 memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página. Una segunda unidad de procesamiento está configurada para leer, desde la primera tabla de páginas, la primera entrada de tabla de páginas, determinar la dirección física a partir de la primera entrada de tabla de páginas, determinar segundos datos de atributos de página a partir de la ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de
60 atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento, y acceden a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

- [0006]** Según otro ejemplo, un procedimiento de acceso a memoria incluye leer, con una primera unidad de
65 procesamiento, una dirección física de una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas, determinar, con la primera unidad de procesamiento, primeros datos de atributos de página a partir de la primera

entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento, leer, con una segunda unidad de procesamiento, la dirección física de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, determinar, con la segunda unidad de procesamiento, segundos datos de atributos de página a partir de una ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento, acceder, con la primera unidad de procesamiento, a una página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página, y acceder, con la segunda unidad de procesamiento, a la página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

[0007] Según otro ejemplo, un aparato incluye medios para almacenar una primera tabla de páginas que incluye una primera entrada de tabla de páginas, donde la primera entrada de tabla de páginas incluye, además, una dirección física de una ubicación alternativa asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y una página física de memoria asociada con la dirección física. El aparato incluye primeros medios de procesamiento, donde los primeros medios de procesamiento comprenden medios para leer, desde la primera entrada de la tabla de páginas, la dirección física, medios para determinar primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para los primeros medios de procesamiento, y medios para acceder a una página física de memoria con la dirección física de acuerdo con uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página. El aparato incluye segundos medios de procesamiento, donde los segundos medios de procesamiento comprenden medios para leer, desde la primera tabla de páginas, la primera entrada de tabla de páginas, medios para determinar la dirección física a partir de la primera entrada de tabla de páginas, medios para determinar segundos datos de atributos de página a partir de la ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para los segundos medios de procesamiento, y medios para acceder a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

[0008] De acuerdo con otro ejemplo, un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador almacena instrucciones que cuando se ejecutan hacen que una primera unidad de procesamiento y una segunda unidad de procesamiento lean, con una primera unidad de procesamiento, una dirección física de una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas, determinen, con la primera unidad de procesamiento, primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento, lean, con una segunda unidad de procesamiento, la dirección física de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, determinen, con la segunda unidad de procesamiento, segundos datos de atributos de página a partir de una ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento, accedan, con la primera unidad de procesamiento, a una página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página, y accedan, con la segunda unidad de procesamiento, a la página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0009]

La figura 1 es un diagrama conceptual que ilustra un dispositivo informático configurado para implementar técnicas de correlación de direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

La figura 2 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

La figura 3 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

La figura 4 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra técnicas de correlación de direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

DESCRIPCIÓN

[0010] En general, las técnicas descritas en esta divulgación están relacionadas con dispositivos informáticos que implementan una correlación de direcciones virtuales con direcciones físicas, también denominada en esta divulgación como correlación virtual a físico. Más particularmente, las técnicas descritas en esta divulgación están dirigidas a una arquitectura de memoria virtual que soporta múltiples conjuntos de atributos para dos o más unidades de procesamiento. En algunos ejemplos, una primera entrada de tabla de páginas de la tabla de páginas común puede incluir un primer conjunto de datos de atributos, tal como un conjunto de datos de atributos para una primera unidad de procesamiento (por ejemplo, una CPU). La primera entrada de tabla de páginas también puede incluir datos asociados con una ubicación alternativa, y la ubicación alternativa puede incluir datos de atributos para una segunda unidad de procesamiento (por ejemplo, una GPU), así como otros datos de atributos. Utilizando los múltiples conjuntos de datos de atributos, la accesibilidad de una página de memoria para las dos o más unidades de procesamiento se puede gestionar individualmente. Por ejemplo, las técnicas descritas en esta divulgación pueden permitir la gestión individual de los atributos de lectura/escritura, ejecución, almacenamiento en caché y otros atributos de accesibilidad de una página de memoria para una primera y segunda unidades de procesamiento.

[0011] Unidades de procesamiento tales como unidades centrales de procesamiento (CPU) y unidades de procesamiento de gráficos (GPU) pueden acceder (por ejemplo, leer de y escribir en) una memoria de sistema. Para acceder al sistema, la unidad de procesamiento accede a la ubicación dentro de la memoria de sistema donde los datos deben ser leídos o escritos con una dirección física asociada con la ubicación en la memoria. Sin embargo, puede ser difícil para la unidad de procesamiento gestionar las direcciones físicas de todas las páginas de memoria (es decir, las ubicaciones de la memoria física donde se pueden escribir o leer datos). Para superar esta dificultad, la unidad de procesamiento puede utilizar un direccionamiento virtual. En el direccionamiento virtual, las aplicaciones que se ejecutan en la unidad de procesamiento (es decir, las aplicaciones cliente) son direcciones de memoria virtual contiguas asignadas. Una aplicación puede comprender varias tareas, donde las diferentes tareas se ejecutan en diferentes unidades de procesamiento. Cada una de las unidades de procesamiento puede incluir respectivas unidades de gestión de memoria (MMU). La MMU de cada una de las unidades de procesamiento se encarga de terminar las direcciones de memoria reales, también denominadas direcciones de memoria física, a partir de las direcciones de memoria virtual.

[0012] Por ejemplo, la MMU incluye una memoria caché denominada como memoria intermedia de traducción anticipada (TLB). La TLB almacena la correlación de direcciones virtuales con direcciones físicas para fragmentos de memoria seleccionados, tal como fragmentos de memoria de acceso reciente o fragmentos de memoria de acceso frecuente. Para acceder a un fragmento de memoria, denominado como "página" de memoria, la unidad de procesamiento suministra la dirección de memoria virtual para esa página de memoria a la MMU. La MMU, a su vez, accede a la TLB para identificar la dirección de memoria física para esa página de memoria. Cuando la correlación está disponible en la TLB (lo que se denomina como acierto de TLB), la MMU accede después a la página de memoria utilizando la dirección de memoria física. Alternativamente, la MMU suministra la dirección de memoria física a una unidad o módulo diferente de la unidad de procesamiento que, a continuación, accede a la página de memoria utilizando la dirección de memoria física.

[0013] En algunos casos, la TLB puede no incluir la correlación de una dirección de memoria virtual (denominada como pérdida de TLB). Por ejemplo, la unidad de procesamiento puede tener que acceder a una página de memoria cuya dirección física no está incluida en las entradas de página almacenadas por la TLB porque esa página de memoria no es una página de memoria de acceso reciente o de acceso frecuente. Cuando esto ocurre, la unidad de procesamiento accede a una tabla de páginas almacenada en la memoria de sistema.

[0014] Una tabla de páginas es similar a la TLB porque ambas almacenan entradas de página que correlacionan direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física. Una entrada de tabla de página, en la tabla de páginas o en la TLB, correlaciona una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física. La tabla de páginas, sin embargo, se almacena en la memoria de sistema en contraste con la TLB, que se almacena localmente en la MMU de la unidad de procesamiento. Además, debido a que la tabla de páginas almacena toda la correlación de direcciones virtuales con direcciones físicas para la unidad de procesamiento en lugar de un número limitado de entradas de página como una TLB, el tamaño de la tabla de páginas es generalmente mucho mayor que el tamaño de la TLB. Por ejemplo, el tamaño de la tabla de páginas puede tener un tamaño de megabytes.

[0015] En algunas técnicas, la memoria de sistema almacena tablas de páginas correspondientes para cada una de las unidades de procesamiento. Por ejemplo, la memoria de sistema almacena una tabla de páginas para la CPU y almacena otra tabla de páginas independiente para la GPU. En algunos casos, sin embargo, estas diferentes tablas de páginas incluyen entradas de tablas de páginas idénticas. Por lo tanto, puede ser posible que varias entradas de tablas de página de una tabla de páginas de CPU sean idénticas a las entradas de tabla de páginas de una tabla de páginas de GPU. Por ejemplo, una entrada de tabla de páginas de la tabla de páginas de CPU puede correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física, y una entrada de tabla de páginas de la tabla de páginas de GPU puede correlacionar la misma dirección de memoria virtual con la misma dirección de memoria física.

[0016] Como un ejemplo, un sistema operativo que se ejecuta en la CPU puede tener la tarea de asignar direcciones de memoria virtual contiguas a una aplicación. La aplicación puede incluir una pluralidad de trabajos o tareas, donde algunos trabajos se ejecutan en la CPU y algunos trabajos se ejecutan en la GPU. El sistema operativo también puede almacenar la correlación entre direcciones de memoria virtual y direcciones de memoria física de la tabla de páginas. Debido a que el sistema operativo se encarga de asignar direcciones de memoria virtual y de correlacionar estas direcciones de memoria virtual con las direcciones físicas de la CPU y de la GPU, el sistema operativo puede crear una tabla de páginas común que almacena las correlaciones virtuales a físicas que son comunes a la CPU y a la GPU.

[0017] La CPU y la GPU pueden tener como beneficio la compartición de correlaciones virtual a físico comunes. Por ejemplo, en lugar de que la memoria de sistema almacene entradas de tablas de páginas duplicadas, la memoria de sistema puede almacenar una única entrada de página para las entradas de tabla de páginas idénticas en la tabla de páginas de la CPU y la tabla de páginas de la GPU, lo que permite ahorrar memoria. Además, debido a que hay una entrada de página para estas entradas de tabla de páginas idénticas, puede ser más eficiente desde el punto de vista computacional actualizar una única entrada de tabla de páginas en lugar de dos entradas de tabla de páginas idénticas.

[0018] Algunas de las técnicas anteriores se han desarrollado para lograr la compartición de tablas de páginas. En estas técnicas, la MMU de la CPU y la MMU de la GPU almacenan punteros que apuntan a la ubicación de la tabla de páginas común en la memoria de sistema. Cuando la CPU y la GPU acceden a una página de memoria, sus MMU respectivas utilizan sus punteros para recuperar la dirección de memoria física de la tabla de páginas compartida. Sin embargo, estas técnicas para compartir una tabla de páginas pueden fallar a veces a la hora de identificar las diferentes capacidades de acceso y/o los permisos de las diferentes unidades de proceso para las páginas de memoria.

[0019] Las diferentes capacidades de acceso pueden estar asociadas con las diferentes unidades de procesamiento. Por ejemplo, una entrada de página tiene convencionalmente 32 bits o 64 bits, dependiendo del tamaño de palabra de la unidad de procesamiento. Dependiendo de la arquitectura de las unidades de procesamiento, el número de bits identifica la dirección física de una página de memoria, y los bits restantes pueden reservarse para datos de atributos. Los datos de atributos pueden identificar las capacidades de acceso y/o los permisos de una o más unidades de procesamiento para esa página de memoria particular. Como ejemplo, algunas de las páginas de memoria pueden ser designadas como legibles y escribibles, y otras páginas de memoria pueden ser designadas como solo legibles. De forma similar, los datos de atributos pueden indicar si una página de memoria puede ser almacenada en caché, está modificada (debe escribirse de nuevo en la memoria principal desde una memoria caché, como la TLB) o ser ejecutada por una o más unidades de procesamiento. Uno o más campos de los datos de atributos, que pueden comprender uno o más bits, imponen e indican estas limitaciones de accesibilidad y/o permisos.

[0020] Puede haber otros ejemplos de campos de atributo, además de campos que designan una página de memoria como que se puede leer y escribir o solo leer. Por ejemplo, otro u otros campos de los datos de atributos pueden indicar que los datos de ciertas páginas de memoria son no ejecutables, almacenables en memoria caché interna, almacenables en memoria caché externa, compartibles, almacenables en memoria intermedia, están modificados y/o son accesibles mediante uno o más supervisores o hipervisores. Si una página no es ejecutable, entonces es posible que uno o más procesadores no ejecuten el contenido de la página de memoria. Los permisos de atributos no ejecutables pueden ser útiles, por ejemplo, para evitar que código malicioso ejecute el contenido de una página de memoria.

[0021] En algunos ejemplos, los datos de atributos de una entrada de tabla de páginas pueden indicar que el contenido de una página de memoria se puede guardar en una memoria caché interna o una memoria caché externa. El contenido de una página de memoria indicada como almacenable en memoria caché interna solo puede almacenarse en una o más memorias caché "internas" (por ejemplo, una memoria caché L1 o memorias caché relativamente más cerca de una unidad de procesamiento), mientras que una página marcada como almacenable en memoria caché externa solo puede almacenarse en memoria caché mediante una o más memorias caché externas, por ejemplo, una memoria caché L2 o una memoria caché L3, y no una memoria caché L1, como un ejemplo.

[0022] Una entrada de tabla de páginas también puede indicar que una página de memoria se puede compartir. Una página de memoria puede compartirse si dos o más procesos pueden compartir acceso a la página de memoria, lo que puede ser útil para reducir el consumo de memoria para páginas de memoria utilizadas comúnmente, tal como bibliotecas compartidas. Los datos de atributos de entrada de tabla de páginas también pueden marcar una página de memoria como modificada. Si los datos de atributos de una entrada de tabla de páginas marcan una página como "modificada", el contenido de la página de memoria puede haber cambiado y una unidad de procesamiento, tal como la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120, puede tener que escribir de nuevo la página de memoria en la memoria de sistema, por ejemplo, en una memoria caché externa o una memoria de sistema 130.

[0023] Los datos de atributos también pueden indicar si una página de memoria tiene permisos de supervisor o

hipervisor. Si una página de memoria tiene permisos de hipervisor, el código que se ejecuta en esa página puede, por ejemplo, modificar o gestionar código que tenga niveles de permisos inferiores, tales como permisos de supervisor, o permisos a nivel de usuario. Los permisos de hipervisor pueden ser útiles, por ejemplo, para gestionar sistemas operativos virtualizados (también denominados "sistemas operativos invitados") u otros recursos virtualizados. Del mismo modo, los permisos de supervisor pueden ser útiles para realizar tareas a nivel de sistema operativo (SO), tal como la gestión de aplicaciones, por ejemplo, aplicaciones que se ejecutan en uno o más sistemas operativos.

[0024] Una entrada de tabla de páginas también puede incluir datos de atributos que indican si una página es de "reescritura" o de "escritura inmediata". Una página de "reescritura" debe ser escrita de nuevo a un nivel superior de memoria de sistema, por ejemplo, la memoria de sistema 130 o un nivel superior de memoria caché (por ejemplo, almacén externo o "de respaldo"), y en una memoria caché interna simultáneamente. Por el contrario, si los datos de atributos de tabla de páginas marcan una página como de "reescritura", una unidad de procesamiento puede escribir primero la página de memoria en la memoria caché, pero puede posponer la escritura de los contenidos cambiados de nuevo a un nivel superior de memoria caché (por ejemplo, almacén exterior o de respaldo) hasta que los bloques de caché que contienen la página de memoria estén a punto de ser modificados y/o reemplazados por nuevos datos.

[0025] Los datos de atributos de una entrada de tabla de páginas también pueden indicar si una página de memoria se puede guardar en memoria intermedia. Si los datos de atributos indican que una página puede almacenarse en una memoria intermedia, entonces una unidad de procesamiento puede escribir los contenidos de la página de memoria en una memoria intermedia de escritura para mejorar el rendimiento del sistema. En algunos ejemplos, una unidad de procesamiento puede marcar ciertas regiones de la memoria de sistema 130 como almacenables en memoria intermedia, y otras regiones, tales como un espacio de memoria de E/S (por ejemplo, un espacio de memoria dedicado a E/S correlacionada con memoria) como no almacenable en memoria intermedia.

[0026] En otro ejemplo, uno o más campos de datos de atributos de tabla de páginas pueden indicar un orden de memoria (por ejemplo, un orden robusto, un orden débil, un orden relajado) para una página de memoria. Si los datos de atributos de una entrada de tabla de páginas indican que una página de memoria está fuertemente ordenada, entonces cada instrucción de máquina que interactúa con esa página se refiere implícitamente a una semántica de adquisición y de liberación. Como resultado, cuando una unidad de procesamiento realiza una secuencia de escrituras, las otras unidades de procesamiento ven esos valores cambiar en el mismo orden en que fueron escritos. Si los datos de atributos de una entrada de tabla de páginas indican que una página de memoria está débilmente ordenada, las escrituras y las lecturas pueden reordenarse arbitrariamente, donde el reordenamiento solo está limitado por barreras de memoria explícitas.

[0027] Cualquier combinación de los datos de atributos descritos anteriormente se puede incluir en una entrada de tabla de páginas. Los ejemplos de datos de atributos descritos anteriormente son solo algunos ejemplos no limitativos. Otros tipos y combinaciones de datos de atributos también se pueden incluir en una entrada de tabla de páginas. De la manera descrita en los ejemplos no limitativos anteriores, los valores de campo de datos de atributos de una entrada de tabla de páginas pueden indicar la accesibilidad y/o los permisos de una página de memoria física para una unidad de procesamiento de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

[0028] En algunos casos, una unidad de procesamiento puede necesitar diferentes permisos de accesibilidad que otra unidad de procesamiento para la misma página de memoria. Por ejemplo, el sistema operativo que se ejecuta en una CPU puede designar algunas páginas de memoria como escribibles y legibles por la CPU, y designar estas mismas páginas solo como legibles por la GPU. Para indicar diferentes permisos para diferentes unidades de procesamiento, cada unidad de procesamiento puede estar asociada con un conjunto de datos de atributos que corresponden a los permisos de accesibilidad de página de memoria para esa unidad de procesamiento. Por ejemplo, en el ejemplo descrito anteriormente donde la CPU y la GPU incluyen sus propias tablas de páginas respectivas, la correlación de direcciones virtuales con direcciones físicas puede ser idéntica en cada una de las tablas de páginas, pero los campos de datos de atributos pueden no ser idénticos. En el otro ejemplo descrito anteriormente donde la CPU y la GPU comparten una tabla de páginas común, los campos de datos de atributos pueden ser compartidos tanto por la CPU como por la GPU. Si los campos de datos de atributos se comparten, el sistema operativo se ve forzado a definir datos de atributos para la CPU o la GPU, pero no para ambas.

[0029] Por ejemplo, los campos de datos de atributos, en el ejemplo anterior, incluyen valores que definen la accesibilidad de la CPU, pero no necesariamente la accesibilidad de la GPU. Esto puede conducir potencialmente a una mala gestión de una página de memoria. Por ejemplo, puede ser deseable limitar la accesibilidad de una página de memoria a solo ser legible por una GPU (y no escribible). Sin embargo, debido a que esta página es legible y escribible por la CPU y a que los valores de los campos de datos de atributos no diferencian entre la CPU y la GPU, la GPU puede escribir inadvertidamente en la página de memoria, en ejemplos donde los punteros se utilizan en una tabla de páginas común.

[0030] Las técnicas de la divulgación se refieren a la designación de datos de atributos de página, específicamente para diferentes unidades de procesamiento. Por ejemplo, los datos de atributos de páginas de GPU definen la accesibilidad de una página de memoria para la GPU, y los datos de atributos de páginas de CPU definen la

accesibilidad para la CPU. De acuerdo con las técnicas de esta divulgación, una primera unidad de procesamiento puede leer una dirección física de una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas, determinar primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento. Una segunda unidad de procesamiento puede leer la dirección física de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, determinar segundos datos de atributos de página a partir de una ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento. La primera unidad de procesamiento puede acceder a una página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de la página, y la segunda unidad de procesamiento puede acceder a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

[0031] La figura 1 muestra un ejemplo de dispositivo informático, el dispositivo informático 100, que puede implementar las técnicas de esta divulgación. Ejemplos del dispositivo informático 100 incluyen, sin limitación, teléfonos móviles inalámbricos, asistentes digitales personales (PDA), consolas de videojuegos, unidades de juegos portátiles, unidades móviles de videoconferencia, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, decodificadores de televisión, reproductores de medios digitales, teléfonos inteligentes, tabletas, cámaras y similares. Aunque no se limitan solo a dispositivos con recursos limitados, las técnicas de esta divulgación pueden ser de particular beneficio en dispositivos con recursos limitados, incluyendo dispositivos que funcionan con baterías.

[0032] El dispositivo informático 100 incluye una primera unidad de procesamiento 110, una segunda unidad de procesamiento 120 y una memoria de sistema 130. La primera unidad de procesamiento 110 incluye una MMU 112, y la segunda unidad de procesamiento 120 incluye una MMU 122. La MMU 110 puede incluir una TLB 114, y la MMU 122 puede incluir una TLB 124. La primera unidad de procesamiento 110 incluye registros 116, y la segunda unidad de procesamiento 120 incluye registros 126. La primera unidad de procesamiento 110 puede ser, por ejemplo, una CPU del dispositivo 100. La segunda unidad de procesamiento 120 puede ser, por ejemplo, una GPU que puede hacerse funcionar para enviar datos gráficos para su presentación en una pantalla. La primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden representar adicionalmente otros tipos de unidades de procesamiento, tales como unidades de procesamiento para diversos dispositivos periféricos, incluyendo controladores de pantalla, dispositivos de conexión en red o cualquier tipo de núcleo de procesamiento de señales digitales (DSP) que asuma el procesamiento de señales de un procesador, tal como una CPU o una GPU. Ejemplos de la primera unidad de procesamiento 110 y de la segunda unidad de procesamiento 120 pueden incluir, pero no se limitan a, un procesador de señales digitales (DSP), un microprocesador de propósito general, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), una matriz lógica programable *in situ* (FPGA), u otros circuitos lógicos integrados o discretos equivalentes. Aunque las técnicas de esta divulgación se describirán generalmente con referencias a dos unidades de procesamiento, las técnicas pueden implementarse con más de dos unidades de procesamiento.

[0033] Los registros 116 y los registros 126 pueden contener datos sobre los que opera la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120 (por ejemplo, operandos). En algunos ejemplos, los registros 116 y los registros 126 pueden ser registros de propósito general, registros indirectos de direcciones de memoria, registros de interrupciones, registros SIMD o cualquier otro tipo de registro. En algunos ejemplos, los registros 116 y 126 pueden estar configurados para almacenar datos de atributos de páginas para la primera unidad de procesamiento 110 y/o la segunda unidad de procesamiento 120 de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

[0034] La memoria de sistema 130 puede ser un ejemplo de un medio de almacenamiento legible por ordenador. La memoria de sistema 130 puede ser, por ejemplo, un tipo de memoria de acceso aleatorio (RAM), tal como RAM dinámica, RAM estática, RAM de tiristor, RAM de condensador cero, RAM de doble transistor o algún otro tipo de memoria volátil. La memoria de sistema 130 puede ser también una memoria no volátil, tal como una memoria flash u otro tipo de RAM no volátil. La memoria de sistema 130 puede almacenar instrucciones que hacen que la primera unidad de procesamiento 110 y la unidad de procesamiento 120 realicen funciones atribuidas a cada una en esta divulgación. De esta manera, la memoria de sistema 130 puede considerarse como un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que hacen que uno o más procesadores, por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 y la unidad de procesamiento 120, realicen diversas funciones. En algunos ejemplos, sin embargo, tales instrucciones pueden almacenarse en una memoria (no mostrada en la figura 1) distinta de la memoria de sistema 130.

[0035] La primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 están configuradas para leer datos desde y escribir datos en la memoria de sistema 130. Para leer o escribir los datos, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 están configuradas para acceder a ubicaciones físicas específicas de la memoria de sistema 130. Estas ubicaciones específicas pueden ser, por ejemplo, páginas de cuatro kilobytes (KB), dos megabytes (MB), o algún otro tamaño. Cada página de memoria puede tener una dirección física asociada. Sin embargo, tal como se ha introducido anteriormente, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden implementar un direccionamiento virtual, de

modo que se asignen direcciones de memoria virtual contiguas a las aplicaciones que se ejecutan en la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120. Las direcciones de memoria física correspondientes a estas direcciones de memoria virtual contiguas pueden, sin embargo, estar fragmentadas y no ser contiguas. De este modo, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden procesar datos usando estas direcciones de memoria virtual contiguas en lugar de las correspondientes direcciones de memoria física no contiguas. Sin embargo, cuando la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 acceden (es decir, leen de o escriben en) la memoria de sistema 130, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 traducen estas direcciones de memoria virtual en direcciones de memoria física correspondientes.

[0036] La MMU 112 está configurada para correlacionar direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física para la primera unidad de procesamiento 110, y la MMU 122 está configurada para correlacionar direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física para la segunda unidad de procesamiento 120. Una tabla de páginas completa con un conjunto completo de entradas de páginas se almacena en las tablas de páginas 132. En algunos ejemplos, las tablas de páginas 132 pueden comprender también una pluralidad de tablas de páginas paralelas. En otros ejemplos, las tablas de páginas 132 pueden comprender una única tabla de páginas. Cada una de la TLB 114 y la TLB 124 almacena un subconjunto de las entradas de tabla de páginas almacenadas en las tablas de páginas 132. El subconjunto puede, por ejemplo, tener entradas de tabla de páginas de acceso reciente, entradas de tabla de páginas de acceso frecuente o entradas de tabla de páginas seleccionadas en función de otros criterios. El subconjunto de entradas de tabla de páginas almacenadas en la TLB 114 puede ser diferente del subconjunto de entradas de páginas almacenadas en la TLB 124. Por ejemplo, las entradas de tabla de páginas a las que accede recientemente o a las que accede con frecuencia la primera unidad de procesamiento 110 a través de la MMU 112 pueden ser diferentes de las entradas de tabla de páginas a las que accede recientemente o con frecuencia la segunda unidad de procesamiento 120 a través de la MMU 122. Así, la TLB 114 puede almacenar un subconjunto de entradas de tabla de páginas diferente al de la TLB 124.

[0037] Si, por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 tiene que traducir una dirección de memoria virtual a una dirección de memoria física, entonces la MMU 112 puede utilizar la TLB 114 para determinar la dirección de memoria física que corresponde a una dirección de memoria virtual particular, cuando la TLB 114 almacena la entrada de página para esa dirección de memoria virtual. Utilizando la dirección de memoria física determinada, la primera unidad de procesamiento 110 puede leer de o escribir en una ubicación física particular de la memoria del sistema 130. De manera similar, si la segunda unidad de procesamiento 120 necesita traducir una dirección de memoria virtual a una dirección de memoria física, entonces la MMU 122 puede usar la TLB 124 para determinar la dirección de memoria física que corresponde a una dirección de memoria virtual particular cuando la TLB 124 almacena la entrada de página para esa dirección de memoria virtual. Utilizando la dirección de memoria física determinada, la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer de o escribir en la memoria de sistema 130.

[0038] Como se ha introducido anteriormente, la TLB 114 y la TLB 124 pueden ser memorias caché que almacenan las correlaciones de virtual a físico para solo un subconjunto de direcciones de memoria virtual. La TLB 114, por lo tanto, puede no almacenar toda la correlación virtual a físico para la unidad de procesamiento 110 y, de manera similar, la TLB 124 puede no almacenar toda la correlación virtual a físico para la segunda unidad de procesamiento 120. En algunos casos, la MMU 112 puede necesitar determinar una dirección de memoria física correspondiente para una dirección de memoria virtual que no tiene una correlación almacenada en la TLB 114. Para determinar una correlación para una dirección de memoria virtual no incluida en la TLB 114, la primera unidad de procesamiento 110 puede acceder a las tablas de páginas 132 almacenadas en la memoria de sistema 130. Las tablas de páginas 132 incluyen toda la correlación virtual a físico para la unidad de procesamiento 110 y la unidad de procesamiento 120 y, por lo tanto, pueden ser mucho más grandes que la TLB 114 y la TLB 124.

[0039] Al igual que la MMU 112, en algunos casos, la MMU 122 puede necesitar determinar una dirección de memoria física correspondiente para una dirección de memoria virtual que no tiene una correlación almacenada en la TLB 124. Para determinar una correlación para una dirección de memoria virtual no incluida en la TLB 124, la segunda unidad de procesamiento 120 accede a las tablas de páginas 132 almacenadas en la memoria de sistema 130. De esta manera, la MMU 122 puede funcionar de una manera sustancialmente similar a la MMU 112. Las tablas de páginas 132 incluyen toda la correlación virtual a físico para la segunda unidad de procesamiento 120, así como para la unidad de procesamiento 110. De esta manera, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 comparten la misma tabla de páginas (por ejemplo, una de las tablas de páginas 132 en el ejemplo de la figura 1).

[0040] En diversos ejemplos, las tablas de páginas 132 pueden ser una única tabla de páginas. Las tablas de páginas 132 pueden ser también una pluralidad de páginas paralelas. En caso de que las tablas de páginas 132 sean una única tabla de páginas, para traducir desde una dirección física a una dirección virtual para una página de memoria, la primera unidad de procesamiento 110 y la unidad de procesamiento 120 pueden leer una primera entrada de tabla de páginas a partir de las tablas de páginas 132. La primera entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos de una página de memoria física para una primera unidad de procesamiento, por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110. Además de los datos de atributos, la primera entrada de tabla de páginas también incluye datos asociados con una segunda entrada de tabla de páginas de la misma tabla de páginas. En

varios ejemplos, los datos asociados con la segunda entrada de tabla de páginas pueden ser un puntero, que puede comprender una dirección virtual y/o una dirección física.

[0041] Para determinar los datos de atributos de página para la segunda unidad de procesamiento, la segunda unidad de procesamiento 120 lee los datos asociados con la segunda entrada de tabla de páginas de la primera entrada de tabla de páginas. La segunda unidad de procesamiento 120 utiliza los datos asociados con la segunda entrada de tabla de páginas para leer la segunda entrada de tabla de páginas a partir de las entradas de tabla de páginas 132. La segunda entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120, que define la accesibilidad de la página de memoria para la segunda unidad de procesamiento 120. En algunos ejemplos, el puntero puede apuntar a un registro de un archivo de registro de la unidad de procesamiento 110 o de la segunda unidad de procesamiento 120. El registro del archivo de registro puede incluir datos de atributos de una entrada de página para la segunda unidad de procesamiento 120.

[0042] En un ejemplo donde las tablas de páginas 132 comprenden una pluralidad de tablas de páginas, para traducir desde una dirección física a una dirección virtual para una página de memoria, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden leer una primera entrada de tabla de páginas a partir de las tablas de páginas 132 en una dirección virtual especificada. La primera entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos de una página de memoria física asociada con la dirección virtual para una primera unidad de procesamiento, por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110. La segunda unidad de procesamiento 120 puede leer la primera entrada de tabla de páginas, y también puede leer una segunda entrada de tabla de páginas de una tabla diferente de las tablas de páginas 132 basándose en la dirección virtual. La segunda entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120. En algunos ejemplos, la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer la primera entrada de tabla de páginas y la segunda entrada de tabla de páginas en paralelo para no tener que esperar a que termine la lectura de la primera entrada de tabla de páginas antes de leer la segunda entrada de tabla de páginas.

[0043] En otro ejemplo donde las tablas de páginas 132 comprenden una pluralidad de tablas de páginas, para traducir desde una dirección física a una dirección virtual para una página de memoria, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden leer una primera entrada de tabla de páginas a partir de las tablas de páginas 132 en una dirección virtual especificada. La primera entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos de una página de memoria física para una primera unidad de procesamiento, por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110. La primera entrada de tabla de páginas también incluye datos asociados con una segunda entrada de tabla de páginas. La segunda entrada de tabla de páginas incluye datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120. La segunda unidad de procesamiento 120 lee los datos asociados con la segunda entrada de tabla de páginas y, basándose en los datos, identifica una tabla de páginas diferente que incluye la segunda entrada de tabla de páginas que tiene los datos de atributos de tabla de páginas para la segunda unidad de procesamiento 120. La segunda unidad de procesamiento 120 lee entonces la segunda entrada de tabla de páginas de la segunda tabla de páginas basándose en la dirección virtual y accede a la página física de memoria utilizando los datos de atributos de la segunda entrada de tabla de páginas.

[0044] Las tablas de páginas 132 pueden incluir, cada una, una pluralidad de entradas de páginas que correlacionan una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de una página de memoria. Una página de memoria puede ser una porción de la memoria de sistema 130 que es accesible individualmente a través de su dirección de memoria física. Cada entrada de tabla de páginas puede incluir uno o más conjuntos de datos de atributos. Cada conjunto de datos de atributos puede establecer controles, tales como permisos y derechos de acceso, para una o más unidades de procesamiento. Cada entrada de tabla de páginas puede incluir opcionalmente uno o más conjuntos adicionales de datos de atributos, tales como un conjunto de datos de atributos que establecen controles comunes para la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120.

[0045] De acuerdo con las técnicas de esta divulgación, la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 pueden configurarse para leer, con la primera unidad de procesamiento 110, una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas, determinar, con la primera unidad de procesamiento 110, primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributo de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento, leer, con la segunda unidad de procesamiento 120, la dirección física de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, determinar, con la segunda unidad de procesamiento 120, segundos datos de atributo de página a partir de una ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento 120, acceder, con la primera unidad de procesamiento 110, a una página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página, y acceder, con la segunda unidad de procesamiento 120, a la página física de memoria asociada con la dirección física según el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

[0046] El primer conjunto de datos de atributos y el segundo conjunto de datos de atributos para las entradas de página de las tablas de páginas 132 pueden permitir que la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda

unidad de procesamiento 120 tengan diferentes permisos y/o derechos de acceso, mientras comparten una tabla de páginas común. Como un ejemplo, el primer conjunto de datos de atributos puede establecerse de modo que la primera unidad de procesamiento 110 tenga acceso de lectura y escritura a una página de memoria particular de la memoria del sistema 130, mientras que la segunda unidad de procesamiento 120 puede tener solo acceso de lectura a la misma página de memoria particular. Por supuesto, también son posibles otras configuraciones, tal como que la segunda unidad de procesamiento 120 tenga tanto acceso de lectura como de escritura, mientras que la primera unidad de procesamiento 110 tiene solamente acceso de lectura, o una de la primera unidad de procesamiento 110 y la segunda unidad de procesamiento 120 tienen acceso de lectura y escritura, mientras que la otra no tiene acceso de lectura ni de escritura.

[0047] La figura 2 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación. La figura 2 muestra una primera entrada de tabla de páginas 140, una segunda entrada de tabla de páginas 142 y una tercera entrada de tabla de páginas 144. La primera entrada de tabla de páginas 140, la segunda entrada de tabla de páginas 142 y la tercera entrada de tabla de páginas 144 pueden ser, cada una, una entrada de tabla de páginas de una tabla de páginas diferente de las tablas de páginas 132.

[0048] Una ejecución de la aplicación en la primera unidad de procesamiento 110 o en la segunda unidad de procesamiento 120 puede intentar acceder (leer o escribir) a una página de memoria física asociada con una dirección de memoria virtual. Una unidad de gestión de memoria (MMU) de una unidad de procesamiento traduce la dirección virtual a una dirección física, y gestiona cualquier lectura o escritura con respecto a la página física de memoria asociada con la dirección física. Una memoria intermedia de traducción anticipada (TLB) puede almacenar en memoria caché las páginas de memoria utilizadas con frecuencia basándose en sus direcciones virtuales para reducir la latencia de búsqueda en una tabla de páginas.

[0049] En el ejemplo de la figura 2, una aplicación en la primera unidad de procesamiento 110 que intenta acceder a una dirección virtual particular hace que la primera MMU 112 realice una búsqueda usando la TLB 114. Si la TLB 114 tiene una copia en memoria caché de la entrada de tabla de páginas solicitada (denominada "primera entrada de tabla de páginas"), la TLB 114 devuelve la primera entrada de tabla de páginas solicitada a la MMU 112. Si la TLB 114 no tiene una copia en memoria caché de la primera entrada de tabla de páginas, la MMU 112 recupera la primera entrada de tabla de páginas solicitada de las tablas de páginas 132.

[0050] La MMU 112 puede recuperar la entrada de tabla de páginas 140 de una tabla de páginas particular que incluye entradas de tabla de páginas asociadas con la primera unidad de procesamiento 110. Para recuperar la entrada de tabla de páginas solicitada, la MMU 112 o la TLB 114 utiliza la dirección virtual de la aplicación solicitante como un índice en la tabla de páginas y recupera la entrada de tabla de páginas solicitada asociada con esa dirección virtual.

[0051] Después de que la MMU 112 haya recuperado la entrada de tabla de páginas, la MMU 112 traduce la dirección virtual a una dirección física. La MMU 112 determina también los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas. Los datos de atributos definen permisos de accesibilidad para la primera unidad de procesamiento 110. Después de terminar los permisos de accesibilidad y la dirección física asociada con la dirección virtual de la página física de memoria, la MMU 112 realiza el acceso de memoria solicitado por la aplicación actualmente en ejecución.

[0052] La primera entrada de tabla de páginas 140 incluye una dirección física 146, datos de atributos 148 y bits válidos 150. La dirección física 146 indica la dirección física de la página de memoria física 152. La MMU 112 hace cualquier lectura o escritura en la página de memoria física 152 basándose en la dirección física 146. En este ejemplo, los datos de atributos 148 incluyen cuatro campos, designados como "R" (legibles), "W", (escribibles), "X" (ejecutables) y "C" (almacenables en memoria caché). Cada campo es de uno o más bits de tamaño, dependiendo de la arquitectura de la unidad de procesamiento 110 y de la unidad de procesamiento 120. El valor de campo legible y los valores de campo escribibles indican si la unidad de procesamiento 110 puede leer o escribir desde la página de memoria física 152. El valor de campo ejecutable indica si la unidad de procesamiento 110 puede ejecutar el contenido de la página de memoria física 152. El valor de campo almacenable en memoria caché indica si la unidad de procesamiento 110 puede almacenar en memoria caché el contenido de la página de memoria física 152, por ejemplo, en una memoria caché L1 o L2.

[0053] Una vez que la MMU 112 lee la entrada de tabla de páginas 140, la MMU 112 traduce la dirección virtual de la entrada de tabla de páginas a la dirección física 146, la MMU 112 puede acceder a la página de memoria física 142 basándose en la dirección física 146. La MMU 112 garantiza que se permita el tipo de acceso, por ejemplo lectura, escritura o ejecución, en función de los valores de campo de los datos de atributos 148. La MMU 112 también puede ser responsable de garantizar que una página de memoria designada como no almacenable en memoria caché no se almacene en memoria caché mediante la primera unidad de procesamiento 110. Si los valores de los campos de datos de atributos indican que el tipo de acceso solicitado no está permitido, la MMU 112 puede lanzar una excepción que un sistema operativo o la aplicación cliente puede gestionar.

[0054] Los campos legibles, escribibles, ejecutables y almacenables en caché son solo algunos ejemplos de valores

de campos que la primera entrada de tabla de páginas 140 puede incluir. La entrada de la tabla de páginas 140 puede incluir cualquier combinación y número de campos de datos de atributos. La primera entrada de tabla de páginas 140 también puede incluir uno o más valores adicionales. Además de los campos mencionados anteriormente, la primera entrada de tabla de páginas 140 puede incluir también uno o más bits válidos. Cada bit válido indica si una entrada adicional de la tabla de páginas, que incluye datos de atributos para una unidad de procesamiento adicional, tal como la segunda unidad de procesamiento 120, es válida. Si un bit válido indica que la entrada de tabla de páginas adicional es válida, la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas asociados con el bit válido. Si el bit válido indica que la entrada de tabla de páginas adicional no es válida, la segunda unidad de procesamiento 120 puede no leer la entrada de tabla de páginas adicional, en algunos ejemplos. En su lugar, la segunda unidad de procesamiento 120 puede usar los datos de atributos de la primera entrada de tabla de páginas 140.

[0055] La misma aplicación que se ejecuta en la primera unidad de procesamiento 110 también se puede ejecutar en la segunda unidad de procesamiento 120 y también puede intentar acceder a la misma dirección de memoria virtual. Sin embargo, puede ser deseable asignar a la página de memoria física un conjunto diferente de valores de accesibilidad. Por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 puede ser una CPU que llena una memoria intermedia de comandos de una GPU, por ejemplo, la segunda unidad de procesamiento 120, con comandos de la GPU para que los ejecute la segunda unidad de procesamiento 120. Los comandos de la GPU no deberían ser ejecutados por la primera unidad de procesamiento 110, sino que deberían ser ejecutados por la segunda unidad de procesamiento 120.

[0056] Para aplicar diferentes conjuntos de datos de atributos para la primera unidad de procesamiento 110 y 112, puede haber una o más ubicaciones alternativas que pueden incluir datos de atributos adicionales de la página de memoria física 142 para la segunda unidad de procesamiento 120. La memoria de sistema 130 puede incluir tablas de páginas adicionales que incluyen información de atributos para unidades de procesamiento adicionales. Por ejemplo, la primera entrada de tabla de páginas 140 puede residir en una primera tabla de páginas. La segunda entrada de tabla de páginas 142 puede residir en una segunda tabla de páginas y la tercera entrada de tabla de páginas 144 puede residir en una tercera tabla de páginas.

[0057] Cuando se accede a una página de memoria de acuerdo con las técnicas de esta divulgación, la MMU 122 de la segunda unidad de procesamiento 120 accede a la primera entrada de tabla de páginas 140 de la manera descrita anteriormente con respecto a la primera unidad de procesamiento 110. La primera entrada de tabla de páginas 140 incluye una correlación desde una dirección virtual a la dirección física 146 de la página de memoria física 152, así como datos de atributos 148 para la unidad de procesamiento 110. En algunos ejemplos, la primera entrada de tabla de páginas 140 puede incluir también bits válidos 150. La MMU 122 también accede a una ubicación alternativa, tal como una segunda entrada de tabla de páginas, o un registro que incluye información de atributos adicional para la segunda unidad de procesamiento 120.

[0058] En un ejemplo, la ubicación alternativa a la que accede la segunda unidad de procesamiento 120 para determinar los datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120 puede ser la entrada de la tabla de páginas 142. La MMU 122 lee la entrada de tabla de páginas 142 de una segunda tabla de páginas de entradas de tabla de páginas 132 diferente de la tabla de páginas que almacena la entrada de tabla de páginas 140. La MMU 122 indexa en la ubicación alternativa, es decir, la segunda tabla de páginas, utilizando la misma dirección virtual utilizada para indexar en la tabla de páginas de la entrada de tabla de páginas 140. La entrada de tabla de páginas 142 incluye segundos datos de atributos 154. Los datos de atributos pueden incluir valores de campo que indican si la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer, escribir, ejecutar y almacenar en memoria caché la página de memoria física 152. En algunos ejemplos, la unidad de procesamiento lee la entrada de tabla de páginas 140 y la entrada de la tabla de páginas 142 en paralelo. La lectura de las dos entradas de tabla de páginas en paralelo evita la latencia causada por esperar a que termine la lectura de la entrada de tabla de páginas 140 antes de leer la entrada de tabla de páginas 142.

[0059] En otro ejemplo, la ubicación alternativa puede ser la entrada de tabla de páginas 144. En este ejemplo, la MMU 122 de la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer la entrada de tabla de páginas 144 para determinar segundos datos de atributos de la página de memoria física 152 para la segunda unidad de procesamiento 120. La entrada de tabla de páginas 144 incluye dos conjuntos de datos de atributos, por ejemplo, para dos unidades de procesamiento diferentes. Un conjunto de datos de atributos puede ser para la segunda unidad de procesamiento 120, y el otro conjunto de datos de atributos puede ser para una tercera unidad de procesamiento. La MMU 122 lee la entrada de tabla de páginas 144 de una tabla de páginas de entradas de tabla de páginas 132 diferente de la tabla de páginas que almacena la entrada de tabla de páginas 140. La MMU 122 indexa en una tabla de páginas diferente de tablas de páginas 132 que utilizan la misma dirección virtual utilizada para indexar en la tabla de páginas que incluye la entrada de tabla de páginas 140. Basándose en los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas 144, la MMU 122 determina los permisos de accesibilidad de la página de memoria física 152 para la segunda unidad de procesamiento 120.

[0060] Aunque las entradas de tabla de páginas 140, 142 y 144 se ilustran como que tienen los mismos campos de atributos, cada una de las entradas de tabla de páginas puede tener diferentes números o tipos de campos de

atributos. Como un ejemplo, la entrada de tabla de páginas 142 puede incluir solamente un único campo de atributos ejecutable. Debido a que la entrada de tabla de páginas 142 no incluye valores para cada campo de atributos, la MMU 122 puede heredar o combinar valores de campos de atributos de la entrada de tabla de páginas 140 con los valores de campo de atributos de la entrada de tabla de páginas 142 para determinar los permisos de accesibilidad de la página de memoria física 152 para la segunda unidad de procesamiento 120. Por ejemplo, la MMU 122 puede usar los valores de campo de atributos legibles, escribibles y almacenables en memoria caché de la entrada de tabla de páginas 140 y el valor de campo de atributo ejecutable de la entrada de tabla de páginas 142 para determinar los permisos finales de la segunda unidad de procesamiento 120 para la página de memoria física 152.

[0061] La figura 3 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación. La figura 3 incluye una primera entrada de tabla de páginas 160, una segunda entrada de tabla de páginas 162 y una tercera entrada de tabla de páginas 164. La primera entrada de tabla de páginas 160, la segunda entrada de tabla de páginas 162 y la tercera entrada de tabla de páginas 164 pueden ser, cada una, una entrada de tabla de páginas de una tabla de páginas diferente de las tablas de páginas 132.

[0062] Una ejecución de aplicación de la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120 puede intentar acceder a una página de memoria física asociada con una dirección de memoria virtual. Una unidad de gestión de memoria (MMU) de una unidad de procesamiento traduce la dirección virtual a una dirección física, y gestiona cualquier lectura o escritura con respecto a la página física de memoria asociada con la dirección física. Una memoria intermedia de traducción anticipada (TLB) puede almacenar en memoria caché las páginas de memoria utilizadas con frecuencia basándose en sus direcciones virtuales para reducir la latencia de consulta en una tabla de páginas.

[0063] En el ejemplo de la figura 3, una aplicación de la primera unidad de procesamiento 110 que intenta acceder a una dirección virtual particular hace que la primera MMU 112 realice una consulta usando la TLB 114. Si la TLB 114 tiene una copia en memoria caché de la entrada de tabla de páginas solicitada, la TLB 114 devuelve la entrada de tabla de páginas solicitada a la MMU 112. Si la TLB 114 no tiene una copia en memoria caché de la primera entrada de tabla de páginas, la MMU 112 recupera la entrada de tabla de páginas solicitada de una tabla de páginas de las tablas de páginas 132 asociada con la primera unidad de procesamiento 110.

[0064] La MMU 112 puede recuperar la entrada de tabla de páginas 160 de una tabla de páginas particular que incluye entradas de tabla de páginas asociadas con la primera unidad de procesamiento 110. Para recuperar la entrada de tabla de páginas solicitada, la MMU 112 o la TLB 114 utiliza la dirección virtual de la aplicación solicitante como un índice en la tabla de páginas asociada con la primera unidad de procesamiento 110 y recupera la entrada de tabla de páginas solicitada, la entrada de tabla de páginas 160 en este ejemplo, asociada con esa dirección virtual.

[0065] La entrada de tabla de páginas 160 incluye la dirección física 166, los datos de atributos 168 y el identificador 170. La dirección física 166 indica la dirección física de la página de memoria física 172. La MMU 112 hace cualquier lectura o escritura en la página de memoria física 172 basándose en la dirección física 166. En este ejemplo, los datos de atributos 168 incluyen cuatro campos, designados como "R" (legibles), "W", (escribibles), "X" (ejecutables) y "C" (almacenables en memoria caché). Cada campo tiene un tamaño de uno o más bits, dependiendo de la arquitectura de la unidad de procesamiento 110 y de la unidad de procesamiento 120. El valor de campo legible y los valores de campo escribibles indican si la unidad de procesamiento 110 puede leer o escribir en la página de memoria física 172. El valor de campo ejecutable indica si la unidad de procesamiento 110 puede ejecutar el contenido de la página de memoria física 172. El valor de campo almacenable en memoria caché indica si la unidad de procesamiento 110 puede almacenar en memoria caché el contenido de la página de memoria física 172, por ejemplo, en una memoria caché L1 o L2.

[0066] Una vez que la MMU 112 lee la entrada de tabla de páginas 160, la MMU 112 traduce la dirección virtual a la dirección física 166, la MMU 112 puede acceder a la página de memoria física 172 basándose en la dirección física 166. La MMU 112 garantiza que el tipo de acceso se permita en base a los valores de campo de los datos de atributos 168. La MMU 112 también puede ser responsable de garantizar que una página de memoria designada como no almacenable en memoria caché no se almacene en memoria caché mediante la primera unidad de procesamiento 110. Si los valores de los campos de datos de atributos indican que el tipo de acceso solicitado no está permitido, la MMU 112 puede lanzar una excepción que un sistema operativo o la aplicación cliente puede gestionar.

[0067] Los campos legibles, escribibles, ejecutables y almacenables en caché son solo algunos ejemplos de valores de campos que la primera entrada de tabla de páginas 160 puede incluir. La primera entrada de tabla de páginas 160 puede incluir también uno o más valores adicionales y/o combinaciones de valores adicionales. Además de los campos mencionados anteriormente, la entrada de tabla de páginas 160 también puede incluir uno o más bits válidos. Cada bit válido indica si una entrada de tabla de páginas particular, que incluye datos de atributos para una unidad de procesamiento diferente, es válida.

[0068] Algunas o todas las partes de la misma aplicación que se ejecuta en la primera unidad de procesamiento 110 también se pueden ejecutar en la unidad de procesamiento 120 y también pueden intentar acceder a la misma página de memoria física 172 en las mismas direcciones de memoria físicas y virtuales. Sin embargo, puede ser deseable, en algunas circunstancias, asignar a la página de memoria física 172 un conjunto diferente de datos de accesibilidad, por ejemplo, un permiso diferente para la página de memoria física 172. Por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 puede ser una CPU que llena una memoria intermedia de comandos de una GPU, por ejemplo, la segunda unidad de procesamiento 120, con comandos de la GPU que se ejecutarán por la segunda unidad de procesamiento 120. Los comandos de la GPU no deberían ser ejecutados por la primera unidad de procesamiento 110, sino que deberían ser ejecutados por la segunda unidad de procesamiento 120. Por consiguiente, el valor de campo de atributos ejecutable debe ser diferente para la unidad de procesamiento 110 y para la unidad de procesamiento 120.

[0069] Para aplicar diferentes conjuntos de datos de atributos para la primera unidad de procesamiento 110 y 112, la MMU 114 de la segunda unidad de procesamiento puede leer un segundo conjunto de datos de atributos de página a partir de una ubicación alternativa. En el ejemplo de la figura 3, la memoria de sistema 130 puede incluir tablas de páginas adicionales que incluyen información de atributos para unidades de procesamiento adicionales, que pueden comprender la ubicación alternativa. Por ejemplo, la primera entrada de tabla de páginas 160 puede residir en una primera tabla de páginas. La segunda entrada de tabla de páginas 162 puede residir en una segunda tabla de páginas y la tercera entrada de tabla de páginas 164 puede residir en una tercera tabla de páginas.

[0070] Cuando se accede a una página de memoria de acuerdo con las técnicas de esta divulgación, una segunda unidad de procesamiento 120 accede a la primera entrada de tabla de páginas 160 de la manera descrita anteriormente con respecto a la primera unidad de procesamiento 110. La entrada de tabla de páginas 160 incluye la dirección física 166 de la página de memoria física 172, así como los datos de atributos 168 para la unidad de procesamiento 110 y el identificador (ID) 170. El identificador 170 puede estar asociado con la ubicación alternativa, que en el ejemplo de la figura 3 es una segunda entrada de tabla de páginas de una pluralidad de tablas de páginas paralelas. En algunos ejemplos, la primera entrada de tabla de páginas 160 puede incluir también uno o más bits válidos que corresponden a una o más entradas de tabla de páginas adicionales. La segunda unidad de procesamiento 120 también accede a una ubicación alternativa, que en el ejemplo de la figura 3 es una entrada de tabla de páginas adicional que incluye segundos datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120.

[0071] En el ejemplo de la figura 3, la segunda unidad de procesamiento 120 determina una entrada de tabla de páginas adicional, tal como la entrada de tabla de páginas 162, basándose en el ID 170 de la entrada de tabla de páginas 160. Una vez que la MMU 122 ha determinado el ID 170, la segunda unidad de procesamiento 120 lee la entrada de tabla de páginas adicional, la entrada de tabla de páginas 162, basándose en el ID 170. En algunos ejemplos, el valor del ID 170 puede indicar o identificar una tabla de páginas particular de las tablas de páginas 132 que contiene la entrada de tabla de páginas 162. La MMU 122 lee la entrada de tabla de páginas 162 basándose en la misma dirección virtual utilizada para leer la entrada de tabla de páginas 166, pero desde la tabla de páginas indicada por el ID 170.

[0072] La entrada de tabla de páginas 162 incluye datos de atributos de páginas para la segunda unidad de procesamiento 120. Los datos de atributos de páginas de la entrada de tabla de páginas 162 pueden incluir valores de campo que indican si la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer, escribir, ejecutar y almacenar en memoria caché la página de memoria física 172. En algunos ejemplos, los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas 162 pueden incluir menos campos de atributos que la entrada de tabla de páginas 160. En este caso, la MMU 122 puede determinar valores de campos de atributos de la entrada de tabla de páginas 160 cuando la entrada de tabla de páginas 162 incluye un valor de campo de atributo correspondiente.

[0073] En algunos ejemplos, el ID 170 de la entrada de tabla de páginas 160 puede incluir más de un valor de identificador. Como ejemplo, en un sistema que tiene tres procesadores, el ID 170 puede comprender dos valores. El primer valor indica una tabla de páginas para la segunda unidad de procesamiento 120, y el segundo valor indica una tabla de páginas con datos de atributos para una tercera unidad de procesamiento. La primera y segunda tablas de páginas indicadas por ID 170 pueden incluirse en las tablas de páginas 132.

[0074] La figura 4 es un diagrama conceptual que ilustra una técnica de ejemplo para correlacionar una dirección de memoria virtual con una dirección de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación. La figura 4 incluye una primera entrada de tabla de páginas 180, y una segunda entrada de tabla de páginas 182. La primera entrada de tabla de páginas 180 y la segunda entrada de tabla de páginas 182 pueden ser entradas de tabla de páginas de una única tabla de páginas de entradas de tabla de páginas 132. En el ejemplo de la figura 4, las entradas de tabla de páginas 132 pueden comprender una única tabla de páginas.

[0075] En el ejemplo de la figura 4, una aplicación que se ejecuta en la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120 puede intentar acceder a una página de memoria física asociada con una dirección de memoria virtual. Una MMU de una unidad de procesamiento traduce la dirección virtual a una dirección física y gestiona cualquier lectura o escritura en la página física de memoria asociada con la dirección física. Una TLB puede almacenar en memoria caché las páginas de memoria utilizadas con frecuencia basándose en sus

direcciones virtuales para reducir la latencia de consulta en una tabla de páginas.

[0076] En el ejemplo de la figura 4, una aplicación que se ejecuta en la primera unidad de procesamiento 110 que intenta acceder a una dirección virtual particular hace que la primera MMU 112 realice una consulta usando la TLB 114. Si la TLB 114 tiene una copia en memoria caché de la entrada de tabla de páginas solicitada (denominada "primera entrada de tabla de páginas"), la TLB 114 devuelve la entrada de tabla de páginas solicitada a la MMU 112. Si la TLB 114 no tiene una copia en memoria caché de la primera entrada de tabla de páginas, la MMU 112 recupera la entrada de tabla de páginas solicitada de la tabla de páginas.

[0077] La MMU 112 puede recuperar la entrada de tabla de páginas 180 de una tabla de páginas particular que incluye entradas de tabla de páginas asociadas con la primera unidad de procesamiento 110. Para recuperar la entrada de tabla de páginas solicitada, la MMU 112 o la TLB 114 utilizan la dirección virtual de la aplicación solicitante como un índice en la tabla de páginas y recupera la entrada de tabla de páginas solicitada, la entrada de tabla de páginas 180 en este ejemplo, asociada con esa dirección virtual.

[0078] La entrada de tabla de páginas 180 incluye una dirección física 184, datos de atributos 186 y un puntero 188. La dirección física 184 indica la dirección física de la página de memoria física 190. La MMU 112 hace cualquier lectura o escritura en la página de memoria física 190 basándose en la dirección física 184. En este ejemplo, los datos de atributos 188 incluyen cuatro campos, designados como "R" (legibles), "W" (escribibles), "X" (ejecutables) y "C" (almacenables en memoria caché). Cada campo tiene un tamaño de uno o más bits, dependiendo de la arquitectura de la primera unidad de procesamiento 110 y de la segunda unidad de procesamiento 120. El valor de campo legible y los valores de campo escribibles indican si la unidad de procesamiento 110 puede leer o escribir en la página de memoria física 190. El valor de campo ejecutable indica si la unidad de procesamiento 110 puede ejecutar el contenido de la página de memoria física 190. El valor de campo almacenable en memoria caché indica si la unidad de procesamiento 110 puede almacenar en memoria caché el contenido de la página de memoria física 190, por ejemplo, en una memoria caché L1 o L2.

[0079] Una vez que la MMU 112 lee la entrada de tabla de páginas 180, la MMU 112 traduce la dirección virtual a la dirección física 184, la MMU 112 puede acceder a la página de memoria física 190 basándose en la dirección física 184. La MMU 112 garantiza que se permita el tipo de acceso, por ejemplo, lectura, escritura, almacenamiento en memoria caché o ejecución, basándose en los valores de campo de los datos de atributos 186. La MMU 112 también puede ser responsable de garantizar que una página de memoria designada como no almacenable en memoria caché no se almacene en memoria caché mediante la primera unidad de procesamiento 110. Si los valores de los campos de datos de atributos indican que el tipo de acceso solicitado no está permitido, la MMU 112 puede lanzar una excepción, que un sistema operativo o la aplicación cliente puede gestionar.

[0080] Los campos que se pueden leer, escribir, ejecutar y almacenar en memoria caché son solo algunos ejemplos de valores de campos que la entrada de tabla de páginas 180 puede incluir. La primera entrada de tabla de páginas 180 también puede incluir uno o más valores adicionales. Además de los campos mencionados anteriormente, la entrada de tabla de páginas 180 también puede incluir uno o más bits válidos. Cada bit válido indica si una entrada de tabla de páginas particular, que incluye datos de atributos para una unidad de procesamiento diferente, es válida.

[0081] Algunas o todas las partes de la misma aplicación que se ejecuta en la primera unidad de procesamiento 110 también se pueden ejecutar en la segunda unidad de procesamiento 120 y también pueden intentar acceder a la misma página de memoria física 190 en las mismas direcciones de memoria físicas y virtuales. Sin embargo, puede ser deseable asignar a la memoria física 190 un conjunto diferente de datos de atributos de páginas, por ejemplo, permisos, tales como permisos de lectura, escritura, almacenamiento en memoria caché y ejecución. Por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 puede ser una CPU que llena una memoria intermedia de comandos de una GPU, por ejemplo, la segunda unidad de procesamiento 120, con comandos de la GPU para ser ejecutados por la segunda unidad de procesamiento 120. Los comandos de la GPU no deberían ser ejecutados por la primera unidad de procesamiento 110, sino que deberían ser ejecutados por la segunda unidad de procesamiento 120. Por consiguiente, el valor de campo de atributos ejecutable debe ser diferente para la unidad de procesamiento 110 y para la unidad de procesamiento 120.

[0082] Para aplicar diferentes conjuntos de datos de atributos para la unidad de procesamiento 110 y 112, puede haber una ubicación alternativa, tal como, por ejemplo, la memoria de sistema 130, que incluye datos de atributos adicionales para unidades de procesamiento adicionales. Cuando se accede a una página de memoria de acuerdo con las técnicas de esta divulgación, la MMU 122 de la segunda unidad de procesamiento 120 accede a la entrada de tabla de páginas 180 de la manera descrita anteriormente con respecto a la primera unidad de procesamiento 110. La entrada de tabla de páginas 180 incluye una dirección física 184 de la página de memoria física 190, así como datos de atributos 168 para la unidad de procesamiento 110 y un puntero 188. En algunos ejemplos, la entrada de tabla de páginas 180 puede incluir también uno o más bits válidos que corresponden a una o más entradas adicionales de tabla de páginas. De acuerdo con las técnicas de esta divulgación, la segunda unidad de procesamiento 120 también accede a la ubicación alternativa, es decir, una entrada de tabla de páginas que incluye datos de atributos adicionales para la segunda unidad de procesamiento 120.

[0083] En el ejemplo de la figura 4, la segunda unidad de procesamiento 120 determina la ubicación alternativa, por ejemplo, la entrada de tabla de páginas 182, en base al valor del puntero 188. Una vez que la MMU 122 tiene el puntero 188, la segunda unidad de procesamiento 120 lee la entrada de tabla de páginas adicional, por ejemplo, la entrada de tabla de páginas 182, basándose en el valor del puntero 188. En algunos ejemplos, el valor del puntero 188 puede indicar la dirección virtual y/o la dirección física de la ubicación alternativa, por ejemplo, una tabla de páginas particular dentro de la misma tabla de páginas que la entrada de tabla de páginas 184. Si el puntero 188 incluye una dirección virtual, una MMU, tal como la MMU 112 o la MMU 112, puede realizar una segunda traducción desde una dirección virtual a una dirección física.

[0084] La entrada de tabla de páginas 182 incluye datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120. Los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas 182 pueden incluir valores de campo que indican si la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer, escribir, ejecutar y almacenar en memoria caché la página de memoria física 190. En algunos ejemplos, los datos de atributos de la entrada de tabla de páginas 182 pueden incluir menos campos de atributos que la entrada de tabla de páginas 180. En este caso, la MMU 122 puede determinar valores de campos de atributos de la entrada de tabla de páginas 180 cuando la entrada de tabla de páginas 182 incluye un valor de campo de atributo correspondiente.

[0085] En algunos ejemplos, el puntero 188 de la entrada de tabla de páginas 180 puede incluir más de un valor. Como ejemplo, en un sistema que tiene tres procesadores, el puntero 188 puede comprender dos valores (por ejemplo, direcciones virtuales y/o direcciones físicas). El primer valor indica una tabla de páginas para la segunda unidad de procesamiento 120, y el segundo valor indica una tabla de páginas con datos de atributos para una tercera unidad de procesamiento. La primera y segunda tablas de páginas indicadas por el puntero 188 pueden incluirse en la misma tabla de páginas que la entrada de tabla de páginas 180. Adicionalmente, el valor del puntero 188 puede comprender un único valor, que puede indicar un único valor de ubicación alternativa, por ejemplo, una entrada de tabla de páginas, que incluye datos de atributos para más de una unidad de procesamiento. El uso de una única entrada de tabla de páginas para especificar los datos de atributos para varios procesadores puede reducir los requisitos de memoria para una tabla de páginas en algunos ejemplos.

[0086] En otro ejemplo, el puntero 188 puede no indicar una entrada de tabla de páginas independiente, sino que más bien puede indicar una ubicación alternativa que comprende un registro, tal como uno de los registros 116 o de los registros 126 de la figura 1, que incluye datos de atributos de página adicionales para una segunda unidad de procesamiento, tal como la unidad de procesamiento 120. Si el valor del puntero 188 indica que los datos de atributos para la segunda unidad de procesamiento 120 se almacenan en un archivo de registro, por ejemplo, un registro en los registros 116 o los registros 126, la MMU 122 puede leer los datos de atributos del registro especificado de un archivo de registro. En un ejemplo en el que la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120 se ajustan a la arquitectura ARM, el registro al que apunta el puntero puede ser los registros indirectos de atributos de memoria ("registros MAIRn"). En otros ejemplos, puede usarse cualquier registro de cualquier unidad de procesamiento del dispositivo informático 110 (por ejemplo, la primera unidad de procesamiento 110 o la segunda unidad de procesamiento 120) para almacenar datos de atributos para uno o más procesadores.

[0087] La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra técnicas de correlación de direcciones de memoria virtual con direcciones de memoria física de acuerdo con las técnicas de esta divulgación. Las técnicas de la figura 5 puede realizarse mediante un dispositivo informático con dos o más unidades de procesamiento, tal como el dispositivo informático 100 de la figura 1. Las técnicas de la figura 5 se describirán con referencia al dispositivo informático 100, aunque debe entenderse que las técnicas de la figura 5 son aplicables a una amplia gama de dispositivos informáticos y no se limitan solamente a dispositivos configurados como el dispositivo informático 100. En el ejemplo de la figura 5, la primera unidad de procesamiento 110 puede ser una CPU y la segunda unidad de procesamiento 120 puede ser una GPU. En varios ejemplos, la primera unidad de procesamiento 110 y/o la segunda unidad de procesamiento 120 pueden comprender cualquier dispositivo de E/S, tal como una cámara de vídeo o de fotografías, una tarjeta de red, un procesador de señales digitales (DSP), un procesador o controlador de E/S, o cualquier otra unidad de procesamiento que pueda estar incluida en el dispositivo informático 100.

[0088] La primera unidad de procesamiento 110 lee una dirección física de una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas (410). La primera unidad de procesamiento 110 determina primeros datos de atributos de página de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento (420). La segunda unidad de procesamiento 120 lee también la dirección física de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas (430). En algunos ejemplos, la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer la segunda entrada de tabla de páginas a partir de la segunda tabla de páginas en paralelo con la lectura de la primera entrada de tabla de páginas.

[0089] La segunda unidad de procesamiento 120 determina segundos datos de atributos de página desde una ubicación alternativa, en el que la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento (440). La primera unidad de procesamiento 110 accede

entonces a una página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página (450), y accede a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página (460). En algunos ejemplos, el primer y segundo datos de atributos de página definen si la página de memoria es al menos una entre legible, escribible, almacenable en memoria caché, ejecutable y modificada. En algunos ejemplos, la segunda entrada de tabla de páginas comprende una segunda entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, y para leer la entrada de tabla de páginas, la segunda unidad de procesamiento 120 lee la segunda entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas basándose en un valor de puntero de la primera entrada de tabla de páginas. En algunos casos, el valor del puntero puede comprender al menos una de entre una dirección virtual y una dirección física. En otros ejemplos, la ubicación alternativa puede comprender un registro, donde el registro está asociado con la primera entrada de tabla de páginas en función de un valor de puntero de la primera entrada de tabla de páginas.

[0090] En un ejemplo, la primera unidad de procesamiento puede comprender una primera unidad de gestión de memoria (MMU) y la segunda unidad de procesamiento puede comprender una segunda MMU, donde la primera MMU está configurada para acceder al menos a una de la primera tabla de páginas y la ubicación alternativa, y la segunda MMU está configurada para acceder a por lo menos una de la primera tabla de páginas y la ubicación alternativa.

[0091] En un ejemplo, la ubicación alternativa puede ser una segunda entrada de tabla de páginas de una segunda tabla de páginas, y la segunda unidad de procesamiento 120 puede leer datos asociados con la segunda tabla de páginas a partir de la primera entrada de tabla de páginas. La segunda unidad de procesamiento 120 puede leer los datos asociados con la segunda tabla de páginas a partir de la primera entrada de tabla de páginas. La lectura de los segundos datos de atributos de página puede comprender la identificación, mediante la segunda unidad de procesamiento 120, de la segunda tabla de páginas en función de los datos asociados a la segunda tabla de páginas. En algunos ejemplos, los datos asociados con la segunda tabla de páginas comprenden un identificador que identifica la segunda tabla de páginas a partir de una pluralidad de tablas de páginas paralelas.

[0092] El proceso ilustrado en la figura 5 puede incluir además la combinación, mediante la segunda unidad de procesamiento 120, de los primeros datos de atributos de página con segundos datos de atributos de página para formar uno o más atributos de accesibilidad de datos de atributos de página combinados. La segunda unidad de procesamiento 120 accede a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de los datos de atributos de página combinados. En algunos ejemplos, los segundos datos de atributos de página incluyen uno o más valores de atributos que son diferentes del uno o más valores de atributos de los primeros datos de atributos de página.

[0093] El proceso de la figura 5 puede incluir además la lectura, mediante la primera unidad de procesamiento 110, de datos válidos a partir de la primera entrada de tabla de páginas que indican si los segundos datos de atributos de página son válidos. Para determinar los segundos datos de atributo de páginas, la segunda unidad de procesamiento 120 puede determinar los segundos datos de atributos de página si los datos válidos de la primera entrada de tabla de páginas indican que los segundos datos de atributos de página son válidos.

[0094] Ejemplos de memoria del sistema 130 incluyen, pero sin limitación, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM), un CD-ROM u otro almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético, u otros dispositivos de almacenamiento magnético, memoria flash, o cualquier otro medio que pueda usarse para transportar o almacenar un código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y a los que se puede acceder mediante un ordenador o un procesador. En algunos ejemplos, la memoria de sistema 130 puede considerarse como un medio de almacenamiento no transitorio. La expresión "no transitorio" puede indicar que el medio de almacenamiento no está embebido en una onda portadora o una señal propagada. Sin embargo, no debe interpretarse que la expresión "no transitorio" significa que la memoria de sistema 130 es no móvil. Como un ejemplo, la memoria de sistema 130 puede retirarse del dispositivo 100, y trasladarse a otro dispositivo. Como otro ejemplo, un dispositivo de almacenamiento, sustancialmente similar a la memoria de sistema 130, puede insertarse en el dispositivo 100. En ciertos ejemplos, un medio de almacenamiento no transitorio puede almacenar datos que, con el tiempo, pueden cambiar (por ejemplo, en RAM).

[0095] En uno o más ejemplos, las funciones descritas pueden implementarse en hardware, software, firmware o cualquier combinación de estos. Si se implementan en software, las funciones pueden almacenarse, como una o más instrucciones o código, en un medio legible por ordenador o transmitirse a través de este, y ejecutarse mediante una unidad de procesamiento basada en hardware. Los medios legibles por ordenador pueden incluir medios de almacenamiento legibles por ordenador, que corresponden a un medio tangible tal como unos medios de almacenamiento de datos o unos medios de comunicación que incluyen cualquier medio que facilite la transferencia de un programa informático desde un lugar a otro, por ejemplo, de acuerdo con un protocolo de comunicación. De esta manera, los medios legibles por ordenador pueden corresponder en general a (1) unos medios de almacenamiento legibles por ordenador tangibles que son no transitorios, o (2) un medio de comunicación tal como una señal o una onda portadora. Los medios de almacenamiento de datos pueden ser cualquier medio disponible al

que se puede acceder desde uno o más ordenadores o uno o más procesadores para recuperar instrucciones, código y/o estructuras de datos para implementar las técnicas descritas en esta divulgación. Un producto de programa informático puede incluir un medio legible por ordenador.

[0096] A modo de ejemplo, y no de limitación, tales medios de almacenamiento legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, memoria flash o cualquier otro medio que pueda utilizarse para almacenar un código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda accederse mediante un ordenador. Además, cualquier conexión recibe adecuadamente la denominación de medios legibles por ordenador. Por ejemplo, si las instrucciones se transmiten desde un sitio web, un servidor u otra fuente remota mediante un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL) o unas tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, el cable de fibra óptica, el par trenzado, la DSL o las tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas se incluyen en la definición de medio. Sin embargo, debería entenderse que los medios de almacenamiento legibles por ordenador y los medios de almacenamiento de datos no incluyen conexiones, ondas portadoras, señales u otros medios transitorios, sino que, en cambio, se orientan a medios de almacenamiento tangibles no transitorios. El término disco, tal como se utiliza en el presente documento, incluye un disco compacto (CD), un disco láser, un disco óptico, un disco versátil digital (DVD), un disco flexible y un disco Blu-ray, de los cuales el disco flexible normalmente reproduce datos de manera magnética, mientras que el resto de discos reproducen datos ópticamente con láseres. Las combinaciones de lo anterior deberían incluirse también dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

[0097] Las instrucciones pueden ser ejecutadas por uno o más procesadores, tales como uno o más procesadores de señales digitales (DSP), microprocesadores de propósito general, circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), matrices lógicas programables *in situ* (FPGA) u otros circuitos lógicos integrados o discretos equivalentes. Por consiguiente, el término "procesador", como se usa en el presente documento, puede referirse a cualquiera de las estructuras anteriores o a cualquier otra estructura adecuada para la implementación de las técnicas descritas en el presente documento. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en el presente documento puede proporcionarse dentro de módulos de hardware y/o software dedicados configurados para la codificación y la decodificación, o incorporarse en un códec combinado. Además, las técnicas podrían implementarse completamente en uno o más circuitos o elementos lógicos.

[0098] Las técnicas de esta divulgación se pueden implementar en una amplia variedad de dispositivos o aparatos, que incluyen un teléfono inalámbrico, un circuito integrado (CI) o un conjunto de CI (por ejemplo, un conjunto de chips). Aunque en esta divulgación se describen varios componentes, módulos o unidades para enfatizar aspectos funcionales de dispositivos configurados para realizar las técnicas divulgadas, estos no requieren necesariamente su realización mediante diferentes unidades de hardware. En su lugar, como se ha descrito anteriormente, diversas unidades pueden combinarse en una unidad de hardware de códec o proporcionarse por medio de un grupo de unidades de hardware interoperativas, que incluyen uno o más procesadores como los descritos anteriormente, conjuntamente con software y/o firmware adecuados.

[0099] Se han descrito diversos ejemplos. Estos y otros ejemplos están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de acceso a memoria, que comprende:

leer (410), con una primera unidad de procesamiento, una dirección física a partir de una primera entrada de tabla de páginas de una primera tabla de páginas;

determinar (420), con la primera unidad de procesamiento, primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la primera unidad de procesamiento;

leer (430), con una segunda unidad de procesamiento, la dirección física a partir de la primera entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas;

determinar (440), con la segunda unidad de procesamiento, segundos datos de atributos de página desde una ubicación alternativa, donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas, y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para la segunda unidad de procesamiento;

acceder (450), con la primera unidad de procesamiento, a una página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página; y

acceder (460), con la segunda unidad de procesamiento, a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ubicación alternativa comprende una segunda entrada de tabla de páginas de una segunda tabla de páginas, donde la determinación de los segundos datos de atributos de página comprenden además:

determinar, con la segunda unidad de procesamiento, los segundos datos de atributos de página a partir de la segunda entrada de tabla de páginas en paralelo con la lectura de la primera entrada de tabla de páginas.

3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ubicación alternativa es una segunda entrada de tabla de páginas de una segunda tabla de páginas, comprendiendo además el procedimiento:

leer, con la segunda unidad de procesamiento, datos asociados con la segunda tabla de páginas a partir de la primera entrada de tabla de páginas, en donde la determinación de los segundos datos de atributos de página comprende además:

identificar, con la segunda unidad de procesamiento, la segunda tabla de páginas en función de los datos asociados con la segunda tabla de páginas.

4. El procedimiento según la reivindicación 3, en el que los datos asociados con la segunda tabla de páginas comprenden un identificador que identifica la segunda tabla de páginas a partir de una pluralidad de tablas de páginas paralelas.

5. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ubicación alternativa comprende una segunda entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas, en donde la segunda entrada de tabla de páginas de la primera tabla de páginas está asociada con la primera entrada de tabla de páginas en función de un valor de puntero de la primera entrada de tabla de páginas.

6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que el valor del puntero comprende al menos una de entre una dirección virtual y una dirección física.

7. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:

combinar, con la segunda unidad de procesamiento, el uno o más atributos de los primeros datos de atributos de página con uno o más atributos de los segundos datos de atributos de página para formar uno o más atributos de accesibilidad de datos de atributos de página combinados, en donde la segunda unidad de procesamiento accede a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de los datos de atributos de página combinados.

8. El procedimiento según la reivindicación 7, en el que los segundos datos de atributos de página incluyen uno o más valores de atributos que son diferentes del uno o más valores de atributos de los primeros datos de atributos de página.
- 5 9. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:
- 10 leer, con la primera unidad de procesamiento, datos válidos a partir de la primera entrada de tabla de páginas que indican si los segundos datos de atributos de la página son válidos, en donde la determinación de los segundos datos de atributos de página comprende además:
- determinar, con la segunda unidad de procesamiento, los segundos datos de atributos de página si los datos válidos de la primera entrada de tabla de páginas indican que los segundos datos de atributos de página son válidos.
- 15 10. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que los primeros datos de atributos de página y los segundos datos de atributos de página definen si la página de memoria es al menos una de entre:
- legible, escribible, almacenable en memoria caché, ejecutable y modificada.
- 20 11. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ubicación alternativa comprende un registro, en el que el registro está asociado con la primera entrada de tabla de páginas en función de un valor de puntero de la primera entrada de tabla de páginas.
- 25 12. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la primera unidad de procesamiento es una CPU, y la segunda unidad de procesamiento es una GPU.
- 30 13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que la primera unidad de procesamiento comprende una primera unidad de gestión de memoria (MMU) y la segunda unidad de procesamiento comprende una segunda MMU, en donde la primera MMU está configurada para acceder al menos a una de entre la primera tabla de páginas y la ubicación alternativa, y la segunda MMU está configurada para acceder a por lo menos una de entre la primera tabla de páginas y la ubicación alternativa.
- 35 14. Un aparato, que comprende:
- medios para almacenar:
- una primera tabla de páginas que incluye una primera entrada de tabla de páginas, donde la primera entrada de tabla de páginas incluye además una dirección física;
- 40 una ubicación alternativa asociada con la primera entrada de tabla de páginas; y
- una página física de memoria asociada con la dirección física;
- primeros medios de procesamiento, donde los primeros medios de procesamiento comprenden:
- 45 medios para leer, a partir de la primera entrada de tabla de páginas, la dirección física;
- medios para determinar primeros datos de atributos de página a partir de la primera entrada de tabla de páginas, en donde los primeros datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para los primeros medios de procesamiento; y
- 50 medios para acceder a una página física de memoria con la dirección física de acuerdo con uno o más atributos de accesibilidad de los primeros datos de atributos de página;
- segundos medios de procesamiento, donde los segundos medios de procesamiento comprenden:
- 55 medios para leer, a partir de la primera tabla de páginas, la primera entrada de tabla de páginas;
- medios para determinar la dirección física a partir de la primera entrada de tabla de páginas;
- 60 medios para determinar segundos datos de atributos de página a partir de la ubicación alternativa, en donde la ubicación alternativa está asociada con la primera entrada de tabla de páginas y donde los segundos datos de atributos de página definen uno o más atributos de accesibilidad de la página física de memoria para los segundos medios de procesamiento; y
- 65 medios para acceder a la página física de memoria asociada con la dirección física de acuerdo con el uno o más atributos de accesibilidad de los segundos datos de atributos de página.

15. Un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que tiene instrucciones almacenadas en el mismo que, al ejecutarse, hacen que una primera unidad de procesamiento y una segunda unidad de procesamiento realicen el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

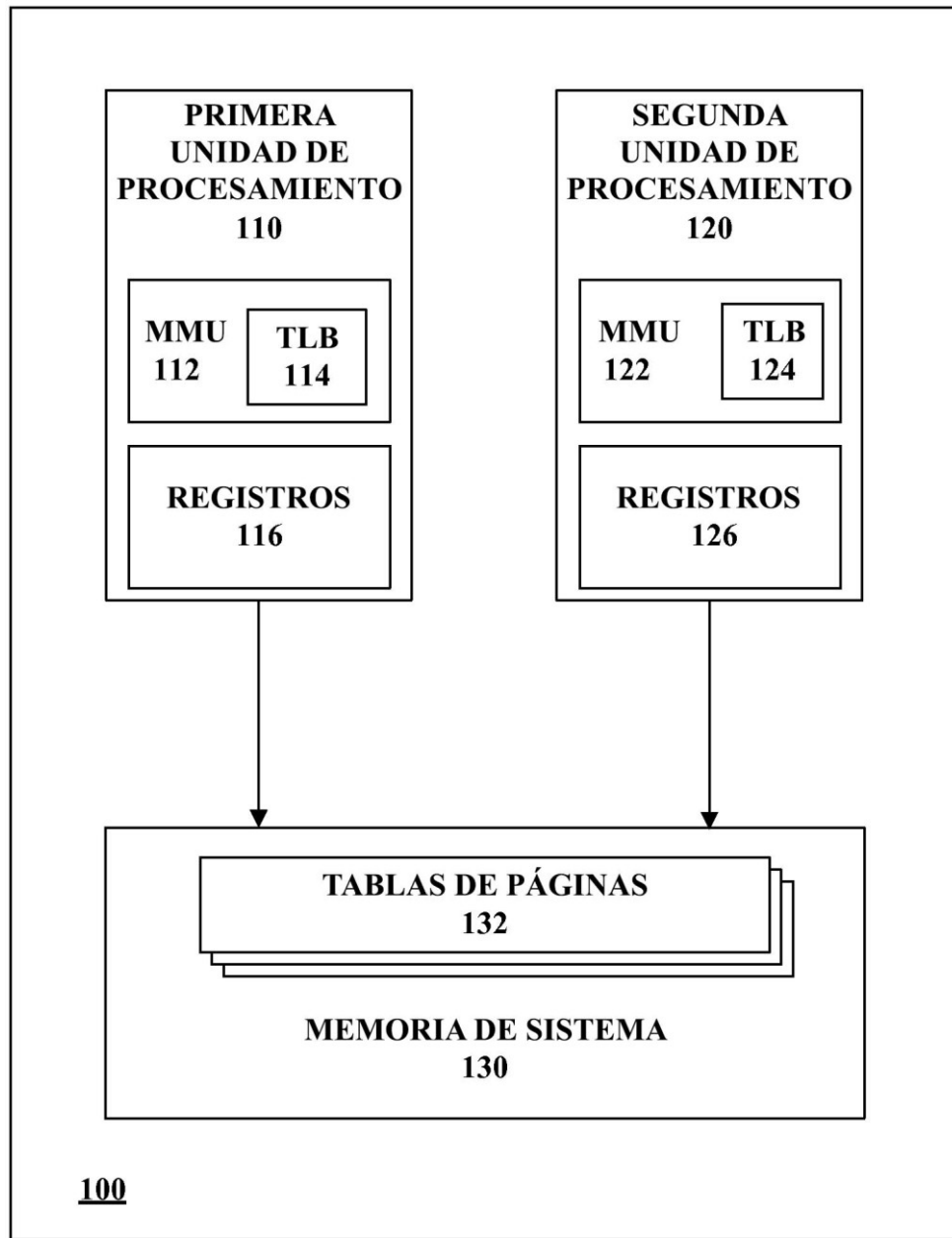


FIG. 1

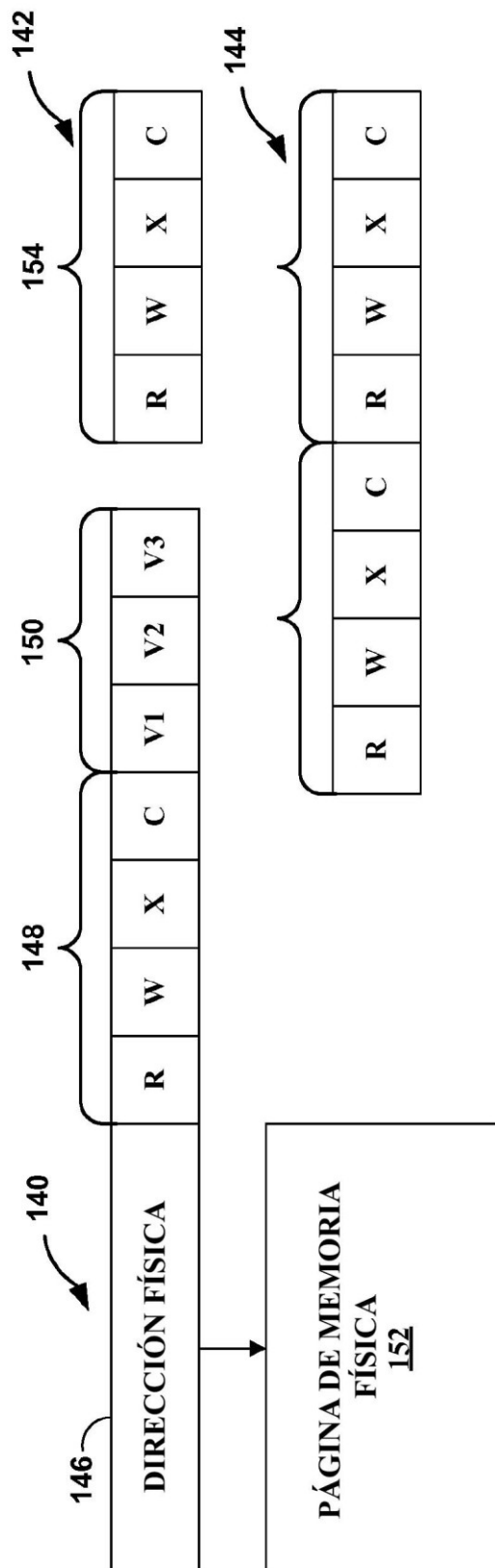


FIG. 2

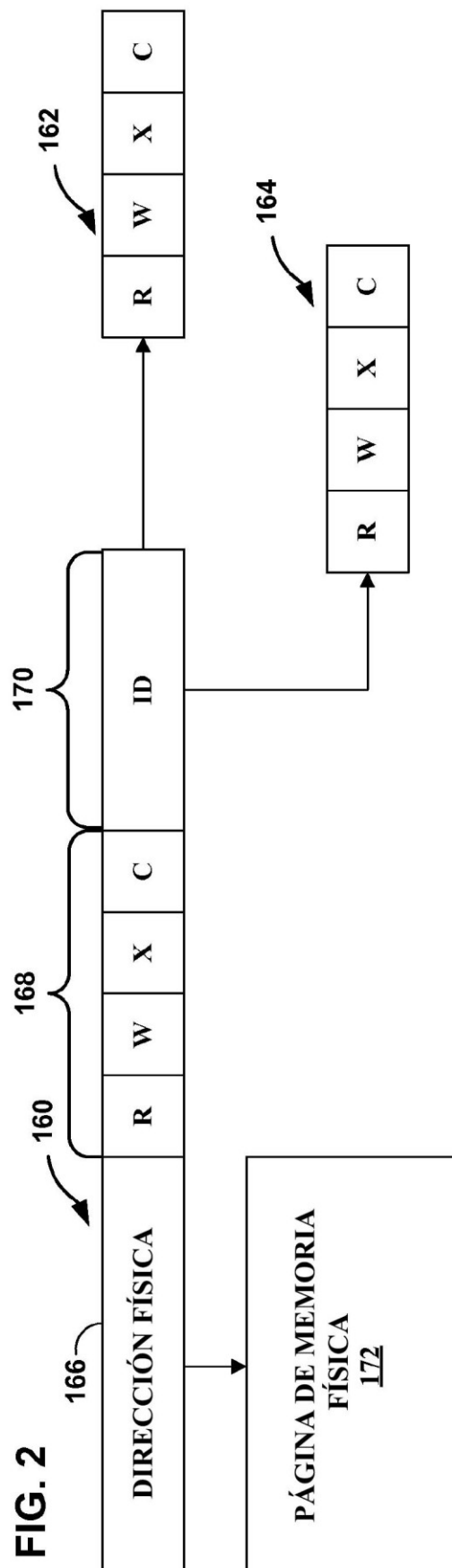


FIG. 3

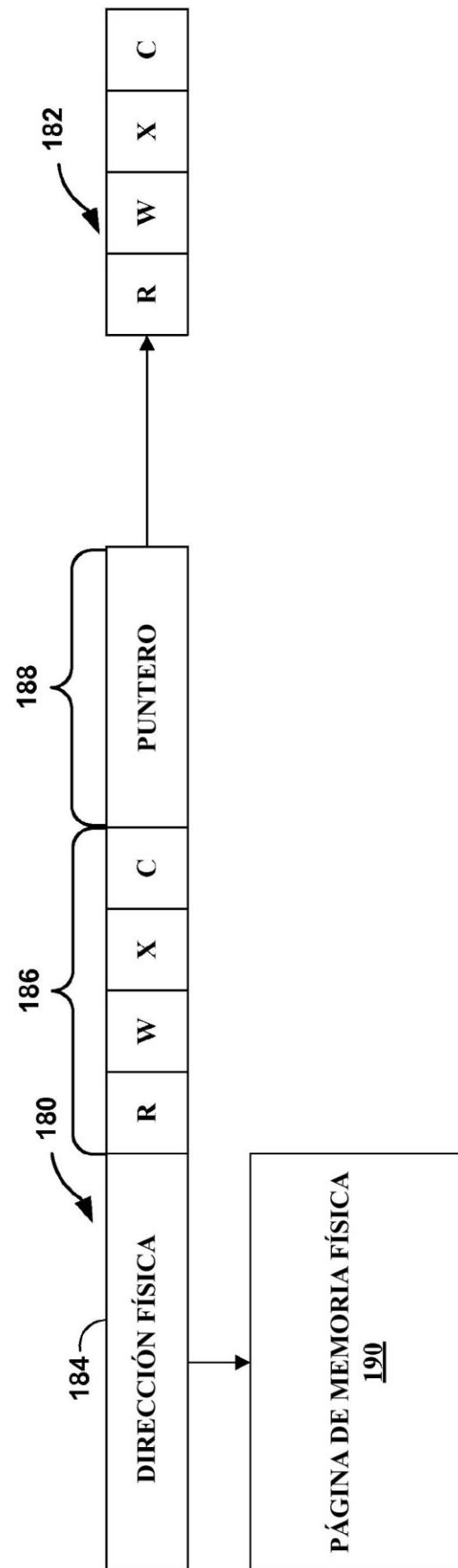


FIG. 4

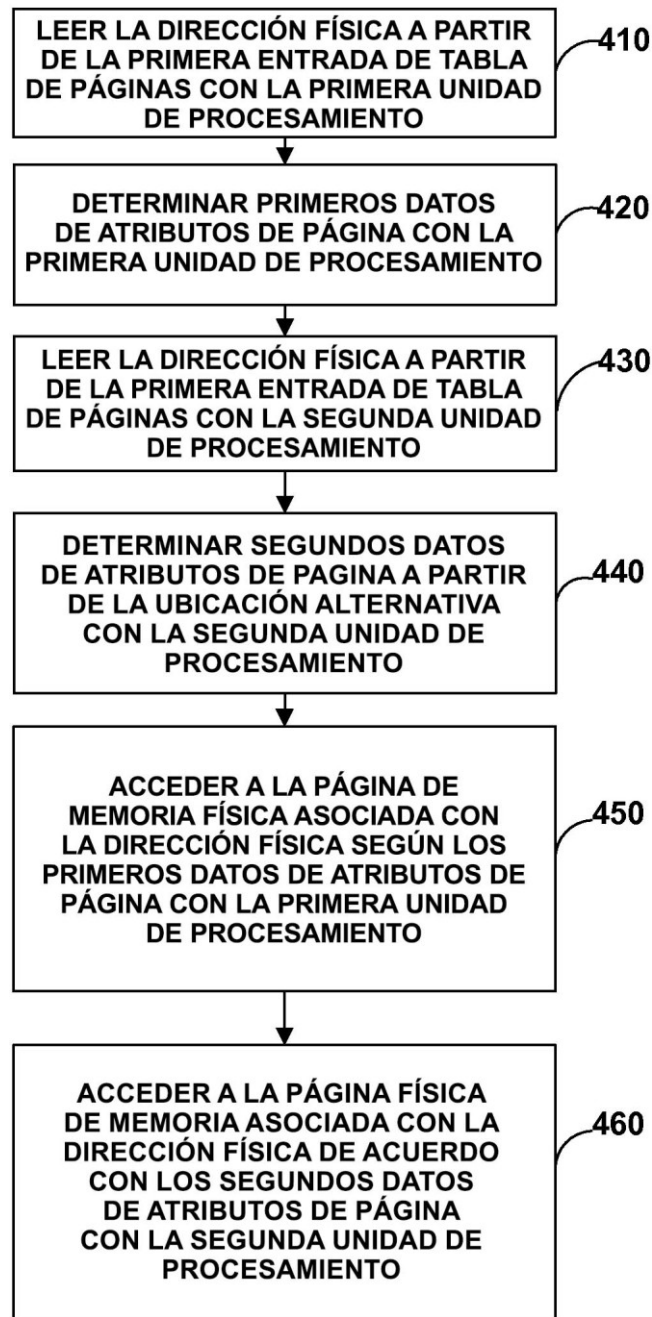


FIG. 5