

CODIFICACIÓN DE INTERPREDICCIÓN PARA LA COMPRESIÓN DE NUBES DE PUNTOS DE GEOMETRÍA

5 Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud de
patente estadounidense N.º 18/303.390, presentada el 19 de
abril de 2023, la solicitud de patente provisional
estadounidense N.º 63/363.306, presentada el 20 de abril de
2022 y la solicitud de patente provisional estadounidense
10 N.º 63/363.552, presentada el 25 de abril de 2022, cuyos
contenidos completos se incorporan en la presente por
referencia. La solicitud de patente estadounidense
18/303.390, presentada el 19 de abril de 2023, reivindica el
beneficio de la solicitud de patente provisional
15 estadounidense 63/363.306, presentada el 20 de abril de 2022
y la solicitud de patente provisional estadounidense
63/363.552, presentada el 25 de abril de 2022.

CAMPO TÉCNICO

20 Esta divulgación se refiere a la codificación y
decodificación de nubes de puntos.

ANTECEDENTES

Una nube de puntos es una recolección de puntos en un
25 espacio tridimensional. Los puntos pueden corresponder a
puntos en objetos que están dentro del espacio

tridimensional. Por lo tanto, se puede usar una nube de puntos para representar el contenido físico del espacio tridimensional. Las nubes de puntos pueden resultar útiles en una amplia variedad de situaciones. Por ejemplo, las nubes de puntos pueden usarse en el contexto de vehículos autónomos para representar las posiciones de objetos en una carretera. En otro ejemplo, las nubes de puntos pueden usarse en el contexto de representar el contenido físico de un entorno con el fin de posicionar objetos virtuales en una aplicación de realidad aumentada (AR, en inglés) o realidad mixta (MR, en inglés). La compresión de nubes de puntos es un proceso para codificar y decodificar nubes de puntos. La codificación de nubes de puntos puede reducir la cantidad de datos necesarios para el almacenamiento y la transmisión de nubes de puntos.

SÍNTESIS

En general, esta divulgación describe técnicas para codificar nodos de una nube de puntos usando interpredicción, tal como para el estándar de Compresión de nubes de puntos de geometría (*Geometry Point Cloud Compression* (G-PCC), en inglés), que se está desarrollando actualmente. Sin embargo, las técnicas de ejemplo no se limitan al estándar G-PCC. En algunos ejemplos de G-PCC, las coordenadas de las posiciones de los nodos (también denominados puntos) de una nube de puntos pueden

convertirse en un dominio (r, ϕ, i) en el que la posición de un nodo está representada por tres parámetros, un radio r , un acimut ϕ y un índice de láser i (por ejemplo, un identificador de láser). Cuando se usa un modo angular para la codificación de geometría predictiva en G-PCC, un codificador de G-PCC puede realizar predicción en el dominio (r, ϕ, i) . Por ejemplo, para codificar un nodo particular de un cuadro particular de una nube de puntos, el codificador de G-PCC puede determinar un valor predicho para uno o más de un radio r , acimut ϕ e índice de láser i del nodo particular en función de otro nodo del cuadro particular y añadir el valor predicho a los datos residuales (por ejemplo, un radio r residual, un acimut ϕ residual o un índice de láser i residual) para determinar un radio r , acimut ϕ o índice de láser i reconstruido del nodo particular. Como la codificación de los datos residuales puede representar la mayor parte de la sobrecarga de codificación, la eficiencia de codificación (por ejemplo, una cantidad de bits usados para codificar un punto) puede verse afectada por cuán cerca esté el valor predicho (por ejemplo, el radio r , acimut ϕ , o índice de láser i predicho) del nodo particular al valor reconstruido (por ejemplo, el radio r , acimut ϕ , o índice de láser i reconstruido) del nodo particular. Como tal, generar parámetros predichos más precisos para un nodo puede mejorar el rendimiento general de la codificación.

De acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación, un codificador de G-PCC puede predecir un punto actual de un cuadro actual de una nube de puntos usando interpredicción. Por ejemplo, para predecir el punto actual usando interpredicción, el codificador de G-PCC puede identificar un punto de referencia en un cuadro diferente al cuadro actual y predecir uno o más parámetros (por ejemplo, un radio r , un acimut ϕ y un índice de láser i) del punto actual en función de uno o más parámetros del punto de referencia. En escenarios de codificación donde los parámetros del punto de referencia están más cerca de los parámetros del punto actual que los puntos principales u otros puntos disponibles en el cuadro actual, predecir el punto actual usando interpredicción puede reducir el tamaño de los datos residuales. De esta manera, las técnicas de interpredicción de esta divulgación pueden permitir que un codificador de G-PCC mejore la eficiencia de codificación.

De acuerdo con un ejemplo de esta divulgación, un dispositivo para procesar (por ejemplo, codificar o decodificar) datos de nube de puntos incluye: una memoria configurada para almacenar los datos de nube de puntos; y uno o más procesadores, implementados en circuitos y configurados para, en respuesta a una determinación, predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpredicción: identificar un cuadro de referencia;

derivar uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia; remuestrear selectivamente puntos en el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia remuestreado; e interpredecir el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado.

De acuerdo con un ejemplo de esta divulgación, un método de procesamiento (por ejemplo, codificación o decodificación) de una nube de puntos incluye: en respuesta a la determinación para predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpredicción: identificar un cuadro de referencia; derivar uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia; remuestrear selectivamente puntos en el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia remuestreado; e interpredecir el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado.

Un medio de almacenamiento legible por computadora almacena instrucciones que, cuando las ejecuta uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores: en respuesta a la determinación de predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpredicción: identifiquen un cuadro de referencia; deriven uno o más

puntos de referencia con compensación de movimiento del
cuadro de referencia; remuestreen selectivamente puntos en
el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de
referencia con compensación de movimiento para generar un
5 cuadro de referencia remuestreado; e interpreten el punto
actual en el cuadro actual en función del cuadro de
referencia remuestreado.

Los detalles de uno o más ejemplos se exponen en los
dibujos adjuntos y la siguiente descripción. Otras
10 características, objetos y ventajas resultarán evidentes a
partir de la descripción, dibujos y reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un
15 sistema de codificación y decodificación de ejemplo que puede
realizar las técnicas de esta divulgación.

La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra un
codificador de compresión de nubes de puntos de geometría
(G-PCC) de ejemplo, de acuerdo con uno o más aspectos de
20 esta divulgación.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra un
decodificador de G-PCC de ejemplo, de acuerdo con uno o
más aspectos de esta divulgación.

La Figura 4 es un diagrama conceptual que ilustra la
25 división de octree para codificación de geometría, de acuerdo
con uno o más aspectos de esta divulgación.

Las Figuras 5A y 5B son diagramas conceptuales de un modelo de adquisición de detección y alcance de luz giratoria (LIDAR, en inglés), de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación.

5 La Figura 6 es un diagrama conceptual de un árbol de predicción para codificación de geometría predictiva, de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación.

La Figura 7 es un diagrama conceptual que ilustra un proceso de interpredicción de ejemplo para predecir puntos
10 de una nube de puntos, de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación.

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un flujo de decodificación de ejemplo asociado con un elemento de sintaxis que indica si un nodo está codificado en un modo de
15 interpredicción o en un modo de intrapredicción.

La Figura 9 es un diagrama conceptual que ilustra un punto interpredictor adicional obtenido del primer punto que tiene un acimut mayor que el punto interpredictor.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra una
20 técnica de ejemplo sobre cómo se pueden usar puntos remuestreados para interpredicción, de acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación.

La Figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica de ejemplo sobre cómo se pueden remuestrear puntos
25 en un cuadro de referencia con compensación global usando

puntos de un cuadro de referencia con compensación cero, de acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación.

Las Figuras 12A-12D son diagramas conceptuales que ilustran cómo se puede elegir un primer conjunto de puntos
5 en un cuadro de referencia con compensación global para un punto en un cuadro de referencia con compensación cero, de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación.

La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de acuerdo con las técnicas de esta divulgación.

10 La Figura 14 es un diagrama conceptual que ilustra un sistema de determinación de alcance de ejemplo que puede usarse con una o más técnicas de esta divulgación.

La Figura 15 es un diagrama conceptual que ilustra un escenario basado en vehículo de ejemplo en el que se puede
15 usar una o más técnicas de esta divulgación.

La Figura 16 es un diagrama conceptual que ilustra un sistema de realidad extendida de ejemplo en el que se puede usar una o más técnicas de esta divulgación.

La Figura 17 es un diagrama conceptual que ilustra un
20 sistema de dispositivo móvil de ejemplo en el que se puede usar una o más técnicas de esta descripción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Cuando se usa un modo angular para la codificación de geometría predictiva en G-PCC, un codificador de G-PCC puede realizar la predicción en un dominio angular, también denominado dominio (r, ϕ, i) . Por ejemplo, para codificar un nodo particular de un cuadro particular de una nube de puntos, el codificador de G-PCC puede determinar un valor predicho para uno o más de un radio r , acimut ϕ o índice de láser i del nodo particular en función de otro nodo del cuadro particular y añadir el radio r , acimut ϕ e índice de láser i predichos del nodo a los datos residuales (por ejemplo, un radio r residual, un acimut ϕ residual, o un índice de láser i residual) para determinar un radio r , acimut ϕ o índice de láser i reconstruidos del nodo particular. Como la codificación de los datos residuales puede representar una sobrecarga de codificación significativa, la eficiencia de codificación (por ejemplo, una cantidad de bits usados para codificar un punto) puede verse afectada por cuán cerca esté el radio r , el acimut ϕ y el índice de láser i predichos del nodo particular al radio r , acimut ϕ e índice de láser i reconstruidos del nodo particular. Como tal, generar parámetros predichos más precisos para un nodo puede mejorar el rendimiento general de la codificación.

De acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación, un codificador de G-PCC puede predecir un punto actual de

un cuadro actual de una nube de puntos usando
interpredicción. Por ejemplo, para predecir el punto actual
usando interpredicción, el codificador de G-PCC puede
identificar un punto de referencia en un cuadro diferente
5 al cuadro actual y predecir uno o más parámetros (por
ejemplo, un radio r , un acimut ϕ y un índice de láser i)
del punto actual en función de uno o más parámetros del
punto de referencia. En escenarios de codificación donde
los parámetros del punto de referencia están más cerca de
10 los parámetros del punto actual que los puntos principales
u otros puntos disponibles en el cuadro actual, predecir
el punto actual usando interpredicción puede reducir el
tamaño de los datos residuales en comparación con la
intrapredicción. De esta manera, las técnicas de
15 interpredicción de esta divulgación pueden permitir que un
codificador de G-PCC mejore la eficiencia de codificación.

Como se explicará con más detalle a continuación, la
interpredicción usa puntos en un cuadro de referencia para
predecir puntos en un cuadro actual. En algunos ejemplos, se
20 puede usar un cuadro de referencia con compensación de
movimiento cero, también denominado con compensación cero, y
en algunos casos se puede usar un cuadro de referencia con
compensación de movimiento global para la predicción. En el
cuadro con compensación cero, los puntos en el cuadro de
25 referencia se usan sin aplicar compensación de movimiento.
En consecuencia, en ocasiones en esta descripción también se

puede hacer referencia a un cuadro de referencia con compensación de movimiento cero simplemente como cuadro de referencia. El cuadro de referencia con compensación de movimiento global se puede obtener del cuadro de referencia (con compensación cero) al realizar una compensación de movimiento basada en un conjunto de parámetros de movimiento. Los parámetros de movimiento pueden derivarse, por ejemplo, usando técnicas de estimación de movimiento u obtenerse de fuentes externas, tal como usando parámetros de GPS o del movimiento de un automóvil que captura la nube de puntos. Cuando se aplica compensación de movimiento a puntos en el cuadro de referencia, las ubicaciones de los puntos se modifican y esto puede dar como resultado una reducción en la eficiencia de codificación.

El cuadro de referencia contiene puntos y cada punto está asociado con una posición reconstruida. Esta posición reconstruida es la posición del punto con respecto a una primera posición en el cuadro de referencia. Por ejemplo, si el punto fue capturado por un sensor de detección y alcance de luz (LIDAR, en inglés) montado en un vehículo, la primera posición puede indicar una posición asociada con el vehículo, tal como la posición de un punto particular en el vehículo/sensor. La posición de los puntos en el cuadro de referencia puede ser relativa a la primera posición. En comparación con el cuadro de referencia, el vehículo puede haberse movido y, por lo tanto, se puede

asociar una segunda posición con el vehículo en el cuadro actual de manera que las posiciones de los puntos en el cuadro actual sean relativas a la segunda posición. Si hay movimiento entre el cuadro de referencia y el cuadro actual, la primera y la segunda posición son diferentes. En este caso, si se aplica compensación de movimiento, la posición de uno o más puntos en el cuadro de referencia (que estaban en relación con la primera posición) puede modificarse de manera que las posiciones de estos puntos sean relativas a la segunda posición. Por ejemplo, supongamos que el vehículo estaba en una ubicación (1,1,1) en el cuadro de referencia y se movió a una ubicación (3,4,5) en el segundo cuadro. La primera posición es (1,1,1) y la segunda posición es (3,4,5). El parámetro de movimiento en este ejemplo es solo traslación, y el vector de movimiento es (2,3,4) (obtenido restando 1,1,1 de 3,4,5, respectivamente). Supongamos que un punto X en el cuadro de referencia tiene la posición (a, b, c) con respecto a la primera posición. Después de la compensación de movimiento, la posición se modifica a (a - 2, b - 3, c - 4). Se puede considerar que esta es la posición del punto X con respecto a la segunda posición.

El ejemplo anterior solo contiene traslación y se describió en el dominio cartesiano. Sin embargo, los parámetros de movimiento también pueden incluir la rotación. Por ejemplo, supongamos que hay tres puntos

sucesivos P1, P2, P3 que son capturados por un láser del sensor LIDAR en el cuadro F1. Como la frecuencia de muestreo de los láseres de los sensores LIDAR suele ser constante, la diferencia de acimut entre puntos sucesivos de un láser es la misma (por ejemplo, ΔAzim). Por lo tanto, la diferencia de acimut entre P1 y P2 es la misma (excluido el ruido) que la diferencia de acimut entre P2 y P3, y ambos son iguales a ΔAzim . Considérese otro cuadro F2, donde F1 es un cuadro de referencia para F2. Cuando se aplica compensación de movimiento a los puntos en F1, se modifica la posición de los puntos P1, P2 y P3. Debido a la operación de compensación de movimiento (rotación y, en algunos casos, traslación), la diferencia en los valores de acimut entre el punto compensado de P1 y el punto compensado de P2 puede no ser igual a ΔAzim . De manera similar, la diferencia en los valores de acimut entre el punto compensado de P2 y el punto compensado de P3 puede no ser igual a ΔAzim . Cuando estos puntos compensados se usan para la interpredicción de puntos en el cuadro actual F2, donde los puntos sucesivos de un láser tienen una diferencia de acimut de ΔAzim , esto da como resultado un predictor subóptimo ya que los puntos compensados de P1, P2 y P3 pueden no corresponder a ningún punto del cuadro actual F2. Esto da como resultado una codificación ineficiente.

Esta divulgación describe técnicas para modificar los puntos compensados de P1, P2 y P3 de modo que estos puntos vuelvan a caer en la cuadrícula de muestreo regular. Esto se puede realizar al observar los valores de acimut de los puntos en el cuadro F1 (es decir, el cuadro de referencia con compensación cero) y derivar nuevos valores de posición correspondientes a estos valores de acimut a partir de las posiciones compensadas de los puntos en el cuadro F1. Esto da como resultado un cuadro de referencia que tiene puntos más cercanos a la cuadrícula de muestreo del sensor y, por lo tanto, un predictor más cercano a los puntos del cuadro actual. Cabe señalar que, debido al ruido presente, las posiciones de los puntos capturadas por un sensor LIDAR normalmente no se encuentran en una cuadrícula de muestreo regular; sin embargo, el patrón de muestreo y la frecuencia son iguales, o casi iguales, en todos los cuadros en la mayoría de los casos.

De acuerdo con las técnicas de esta divulgación, un codificador de G-PCC puede, en respuesta a la determinación de que un punto actual en un cuadro actual está codificado con un modo de interpredicción, derivar uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia y remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia remuestreado. Al interpredecir el punto

actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado, un codificador de G-PCC puede realizar una interpredicción más precisa, lo que reduce los bits necesarios para señalar datos residuales y, por lo tanto, mejora la compresión sin aumentar la distorsión.

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de codificación y decodificación 100 de ejemplo que puede realizar las técnicas de esta divulgación. Las técnicas de esta divulgación generalmente están dirigidas a codificar (codificar y/o decodificar) datos de nube de puntos, es decir, para soportar la compresión de nubes de puntos. En general, los datos de nube de puntos incluyen cualquier dato para procesar una nube de puntos. La codificación puede ser eficaz para comprimir y/o descomprimir datos de nube de puntos.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema 100 incluye un dispositivo fuente 102 y un dispositivo de destino 116. El dispositivo fuente 102 proporciona datos de nube de puntos codificados para ser decodificados por un dispositivo de destino 116. Particularmente, en el ejemplo de la Figura 1, el dispositivo fuente 102 proporciona los datos de nube de puntos al dispositivo de destino 116 a través de un medio legible por computadora 110. El dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116 pueden comprender cualquiera de una amplia gama de dispositivos, incluidos computadoras de escritorio,

computadoras portátiles (es decir, *notebooks*), tabletas, decodificadores, terminales telefónicos tales como teléfonos inteligentes, televisores, cámaras, dispositivos de visualización, reproductores de medios digitales, consolas de videojuegos, dispositivos de transmisión de video, vehículos marinos o terrestres, naves espaciales, aeronaves, robots, dispositivos de LIDAR, satélites o similares. En algunos casos, el dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116 pueden estar equipados para comunicación inalámbrica.

En el ejemplo de la Figura 1, el dispositivo fuente 102 incluye una fuente de datos 104, una memoria 106, un codificador de G-PCC 200 y una interfaz de salida 108. El dispositivo de destino 116 incluye una interfaz de entrada 122, un decodificador de G-PCC 300, una memoria 120 y un consumidor de datos 118. De acuerdo con esta divulgación, el codificador de G-PCC 200 del dispositivo fuente 102 y el decodificador de G-PCC 300 del dispositivo de destino 116 pueden configurarse para aplicar las técnicas de esta divulgación relacionadas con la codificación de geometría predictiva. Por lo tanto, el dispositivo fuente 102 representa un ejemplo de un dispositivo de codificación, mientras que el dispositivo de destino 116 representa un ejemplo de un dispositivo de decodificación. En otros ejemplos, el dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116 pueden incluir otros componentes o disposiciones.

Por ejemplo, el dispositivo fuente 102 puede recibir datos (por ejemplo, datos de nube de puntos) de una fuente interna o externa. De la misma manera, el dispositivo de destino 116 puede interactuar con un consumidor de datos externo, en
5 lugar de incluir un consumidor de datos en el mismo dispositivo.

El sistema 100 como se muestra en la Figura 1 es simplemente un ejemplo. En general, otros dispositivos de codificación y/o decodificación digitales pueden realizar
10 las técnicas de esta divulgación relacionadas con la codificación de geometría predictiva. El dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116 son simplemente ejemplos de tales dispositivos en los que el dispositivo fuente 102 genera datos codificados para su transmisión al dispositivo
15 de destino 116. Esta divulgación se refiere a un dispositivo de “codificación” como un dispositivo que realiza la codificación (codificación y/o decodificación) de datos. Por lo tanto, el codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 representan ejemplos de dispositivos de
20 codificación, en particular, un codificador y un decodificador, respectivamente. En algunos ejemplos, el dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116 pueden operar de una manera sustancialmente simétrica, de tal manera que cada uno del dispositivo fuente 102 y el
25 dispositivo de destino 116 incluye componentes de codificación y decodificación. Por lo tanto, el sistema 100

puede soportar transmisión unidireccional o bidireccional entre el dispositivo fuente 102 y el dispositivo de destino 116, por ejemplo, para transmisión, reproducción, difusión, navegación y otras aplicaciones.

5 En general, la fuente de datos 104 representa una fuente de datos (es decir, datos de nube de datos sin procesar y sin codificar) y puede proporcionar una serie secuencial de “cuadros” de los datos al codificador de G-PCC 200, que codifica datos para los cuadros. La fuente
10 de datos 104 del dispositivo fuente 102 puede incluir un dispositivo de captura de nube de puntos, tal como cualquiera de diversas cámaras o sensores, por ejemplo, un escáner 3D o un dispositivo de LIDAR, una o más cámaras de video, un archivo que contiene datos capturados
15 previamente, y /o una interfaz de alimentación de datos para recibir datos de un proveedor de contenido de datos. Alternativa o adicionalmente, los datos de nube de puntos pueden ser generados por computadora a partir de un escáner, una cámara, un sensor u otros datos. Por ejemplo,
20 la fuente de datos 104 puede generar datos basados en gráficos de computadora como los datos fuente, o producir una combinación de datos en directo, datos archivados y datos generados por computadora. En cada caso, el codificador de G-PCC 200 codifica los datos capturados,
25 precapturados o generados por computadora. El codificador de G-PCC 200 puede reorganizar los cuadros del orden

recibido (a veces denominado “orden de visualización”) en un orden de codificación para la codificación. El codificador de G-PCC 200 puede generar uno o más flujos de bits que incluyen datos codificados. El dispositivo fuente 102 puede entonces enviar los datos codificados a través de la interfaz de salida 108 a un medio legible por computadora 110 para su recepción y/o recuperación por, por ejemplo, la interfaz de entrada 122 del dispositivo de destino 116.

La memoria 106 del dispositivo fuente 102 y la memoria 120 del dispositivo de destino 116 pueden representar memorias de propósito general. En algunos ejemplos, la memoria 106 y la memoria 120 pueden almacenar datos sin procesar, por ejemplo, datos sin procesar procedentes de la fuente de datos 104 y datos decodificados sin procesar del decodificador de G-PCC 300. Adicional o alternativamente, la memoria 106 y la memoria 120 pueden almacenar instrucciones de *software* ejecutables por, por ejemplo, el codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300, respectivamente. Aunque la memoria 106 y la memoria 120 se muestran por separado del codificador de G-PCC 200 y del decodificador de G-PCC 300 en este ejemplo, debe entenderse que el codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 también pueden incluir memorias internas para fines funcionalmente similares o equivalentes. Además, la memoria 106 y la memoria 120 pueden almacenar datos codificados, por ejemplo, salida desde el

codificador de G-PCC 200 y entrada al decodificador de G-PCC 300. En algunos ejemplos, partes de la memoria 106 y la memoria 120 pueden asignarse como uno o más búferes, por ejemplo, para almacenar datos sin procesar, decodificados y/o codificados. Por ejemplo, la memoria 106 y la memoria 120 pueden almacenar datos que representan una nube de puntos.

El medio legible por computadora 110 puede representar cualquier tipo de medio o dispositivo capaz de transportar los datos codificados del dispositivo fuente 102 al dispositivo de destino 116. En un ejemplo, el medio legible por computadora 110 representa un medio de comunicación para permitir que el dispositivo fuente 102 transmita datos codificados directamente al dispositivo de destino 116 en tiempo real, por ejemplo, a través de una red de radiofrecuencia o una red informática. La interfaz de salida 108 puede modular una señal de transmisión que incluye los datos codificados, y la interfaz de entrada 122 puede demodular la señal de transmisión recibida, de acuerdo con un estándar de comunicación, tal como un protocolo de comunicación inalámbrica. El medio de comunicación puede comprender cualquier medio de comunicación inalámbrico o por cable, tal como un espectro de radiofrecuencia (RF) o una o más líneas de transmisión físicas. El medio de comunicación puede formar parte de una red basada en paquetes, tal como una red de área local,

una red de área amplia o una red global como Internet. El medio de comunicación puede incluir enrutadores, conmutadores, estaciones base o cualquier otro equipo que pueda ser útil para facilitar la comunicación del
5 dispositivo fuente 102 al dispositivo de destino 116.

En algunos ejemplos, el dispositivo fuente 102 puede enviar datos codificados de la interfaz de salida 108 al dispositivo de almacenamiento 112. De manera similar, el dispositivo de destino 116 puede acceder a los datos
10 codificados del dispositivo de almacenamiento 112 a través de la interfaz de entrada 122. El dispositivo de almacenamiento 112 puede incluir cualquiera de diversos medios de almacenamiento de datos distribuidos o a los que se accede localmente, tales como un disco duro, discos Blu-
15 ray, DVD, CD-ROM, memoria flash, memoria volátil o no volátil, o cualquier otro medio de almacenamiento digital adecuado para almacenar datos codificados.

En algunos ejemplos, el dispositivo fuente 102 puede enviar datos codificados al servidor de archivos 114 u otro
20 dispositivo de almacenamiento intermedio que pueda almacenar los datos codificados generados por el dispositivo fuente 102. El dispositivo de destino 116 puede acceder a los datos almacenados del servidor de archivos 114 a través de transmisión o descarga. El servidor de archivos 114 puede
25 ser cualquier tipo de dispositivo servidor capaz de almacenar datos codificados y transmitir esos datos codificados al

dispositivo de destino 116. El servidor de archivos 114 puede representar un servidor web (por ejemplo, para un sitio web), un servidor de Protocolo de transferencia de archivos (FTP, en inglés), un dispositivo de red de entrega de contenido o un dispositivo de almacenamiento conectado a la red (NAS, en inglés). El dispositivo de destino 116 puede acceder a los datos codificados del servidor de archivos 114 a través de cualquier conexión de datos estándar, incluida una conexión a Internet. Esto puede incluir un canal inalámbrico (por ejemplo, una conexión Wi-Fi), una conexión por cable (por ejemplo, línea de abonado digital (DSL, en inglés), módem por cable, etc.), o una combinación de ambos que sea adecuada para acceder a los datos codificados almacenados en el servidor de archivos 114. El servidor de archivos 114 y la interfaz de entrada 122 pueden configurarse para funcionar de acuerdo con un protocolo de transmisión de flujo continuo, un protocolo de transmisión de descarga o una combinación de estos.

La interfaz de salida 108 y la interfaz de entrada 122 pueden representar transmisores/receptores inalámbricos, módems, componentes de red cableados (por ejemplo, tarjetas Ethernet), componentes de comunicación inalámbrica que operan de acuerdo con cualquiera de diversos estándares IEEE 802.11 u otros componentes físicos. En ejemplos donde la interfaz de salida 108 y la interfaz de entrada 122 comprenden componentes inalámbricos, la interfaz de salida

108 y la interfaz de entrada 122 pueden configurarse para transferir datos, tales como datos codificados, de acuerdo con un estándar de comunicación celular, tal como 4G, 4G-LTE (Evolución a largo plazo, o *Long-Term Evolution*, en inglés), LTE Advanced, 5G o similares. En algunos ejemplos donde la interfaz de salida 108 comprende un transmisor inalámbrico, la interfaz de salida 108 y la interfaz de entrada 122 pueden configurarse para transferir datos, tales como datos codificados, de acuerdo con otros estándares inalámbricos, tales como una especificación IEEE 802.11, una especificación IEEE 802.15 (por ejemplo, ZigBee™), un estándar de Bluetooth™, o similares. En algunos ejemplos, el dispositivo fuente 102 y/o el dispositivo de destino 116 pueden incluir dispositivos respectivos de sistema en un chip (SoC, en inglés). Por ejemplo, el dispositivo fuente 102 puede incluir un dispositivo de SoC para realizar la funcionalidad atribuida al codificador de G-PCC 200 y/o a la interfaz de salida 108, y el dispositivo de destino 116 puede incluir un dispositivo de SoC para realizar la funcionalidad atribuida al decodificador de G-PCC 300 y/o a la interfaz de entrada 122.

Las técnicas de esta divulgación se pueden aplicar a la codificación y decodificación en apoyo de cualquiera de diversas aplicaciones, tales como comunicación entre vehículos autónomos, comunicación entre escáneres, cámaras, sensores y dispositivos de procesamiento tales como

servidores locales o remotos, mapeo geográfico u otras aplicaciones.

La interfaz de entrada 122 del dispositivo de destino 116 recibe un flujo de bits codificado de un medio legible por computadora 110 (por ejemplo, un medio de comunicación, dispositivo de almacenamiento 112, servidor de archivos 114 o similares). El flujo de bits codificado puede incluir información de señalización definida por el codificador de G-PCC 200, que también es usado por el decodificador de G-PCC 300, tal como elementos de sintaxis que tienen valores que describen características y/o el procesamiento de unidades codificadas (por ejemplo, cortes, imágenes, grupos de imágenes, secuencias o similares). El consumidor de datos 118 usa los datos decodificados. Por ejemplo, el consumidor de datos 118 puede usar los datos decodificados para determinar las ubicaciones de objetos físicos. En algunos ejemplos, el consumidor de datos 118 puede comprender una pantalla para presentar imágenes basadas en una nube de puntos.

Cada uno del codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 puede implementarse como cualquiera de diversos circuitos de codificador y/o decodificador adecuados, tales como uno o más microprocesadores, procesadores de señales digitales (DSP, en inglés), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, en inglés), matrices de puertas programables en campo (FPGA, en inglés), lógica discreta,

software, *hardware*, *firmware* o cualquier combinación de estos. Cuando las técnicas se implementan parcialmente en *software*, un dispositivo puede almacenar instrucciones para el *software* en un medio legible por computadora adecuado y no transitorio, y ejecutar las instrucciones en *hardware* usando uno o más procesadores para realizar las técnicas de esta divulgación. Cada uno del codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 puede incluirse en uno o más codificadores o decodificadores, cualquiera de los cuales puede estar integrado como parte de un codificador/decodificador combinado (CODEC, en inglés) en un dispositivo respectivo. Un dispositivo que incluye un codificador de G-PCC 200 y/o un decodificador de G-PCC 300 puede comprender uno o más circuitos integrados, microprocesadores y/u otros tipos de dispositivos.

El codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 pueden funcionar de acuerdo con un estándar de codificación, tal como un estándar de compresión de nubes de puntos de video (V-PCC, en inglés) o un estándar de compresión de nubes de puntos de geometría (G-PCC). Esta divulgación puede referirse generalmente a la codificación (por ejemplo, codificación y decodificación) de imágenes para incluir el proceso de codificación o decodificación de datos. Un flujo de bits codificado generalmente incluye una serie de valores para elementos de sintaxis representativos de decisiones de codificación (por ejemplo, modos de codificación).

Esta descripción generalmente puede referirse a “señalar” cierta información, como elementos de sintaxis. El término “señalización” puede referirse generalmente a la comunicación de valores para elementos de sintaxis y/u otros
5 datos usados para decodificar datos codificados. Es decir, el codificador de G-PCC 200 puede señalar valores para elementos de sintaxis en el flujo de bits. En general, señalización se refiere a generar un valor en el flujo de bits. Como se indicó anteriormente, el dispositivo fuente
10 102 puede transportar el flujo de bits al dispositivo de destino 116 sustancialmente en tiempo real, o no en tiempo real, tal como podría ocurrir cuando se almacenan elementos de sintaxis en el dispositivo de almacenamiento 112 para su posterior recuperación por el dispositivo de destino 116.

15 ISO/IEC MPEG (JTC 1/SC 29/WG 11) está estudiando la necesidad potencial de estandarizar la tecnología de codificación de nubes de puntos con una capacidad de compresión que supere significativamente la de los enfoques actuales y su objetivo será crear el estándar. El grupo
20 está trabajando en conjunto en esta actividad de exploración en un esfuerzo colaborativo conocido como Equipo de Gráficos Tridimensionales (3DG, en inglés) para evaluar los diseños de tecnología de compresión propuestos por sus expertos en esta área.

25 Las actividades de compresión de nubes de puntos se clasifican en dos enfoques diferentes. El primer enfoque es

la “compresión de nubes de puntos de video” (V-PCC), que segmenta el objeto tridimensional y proyecta los segmentos en múltiples planos bidimensionales (que se representan como “parches” en el cuadro bidimensional), que son codificados además por un códec de video bidimensional heredado, como un códec de codificación de video de alta eficiencia (HEVC, en inglés) (ITU-T H.265). El segundo enfoque es la “compresión de nubes de puntos basada en geometría” (G-PCC), que comprime directamente la geometría tridimensional, es decir, la posición de un conjunto de puntos en el espacio tridimensional, y los valores de atributos asociados (para cada punto asociado con la geometría tridimensional). G-PCC aborda la compresión de nubes de puntos tanto en la Categoría 1 (nubes de puntos estáticas) como en la Categoría 3 (nubes de puntos adquiridas dinámicamente). Un borrador del estándar G-PCC está disponible en G-PCC DIS, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 w19328, Bruselas, Bélgica, enero de 2020, y una descripción del códec está disponible en Codec Description v8 de G-PCC, ISO /IEC JTC1/SC29/WG11 w19525, Bruselas, Bélgica, enero de 2020.

Una nube de puntos contiene un conjunto de puntos en un espacio tridimensional y puede tener atributos asociados con el punto. Los atributos pueden ser información de color tal como R, G, B o Y, Cb, Cr o información de reflectancia u otros atributos. Las nubes de puntos pueden capturarse mediante una variedad de

cámaras o sensores, como sensores LIDAR y escáneres 3D, y también pueden ser generados por computadora. Los datos de nube de puntos se usan en diversas aplicaciones, que incluyen, entre otras, la construcción (modelado),
5 gráficos (modelos tridimensional para visualización y animación) y la industria automotriz (sensores LIDAR usados para ayudar en la navegación).

El espacio tridimensional ocupado por los datos de una nube de puntos puede estar encerrado por una caja
10 delimitadora virtual. La posición de los puntos en la caja delimitadora puede representarse con cierta precisión; por lo tanto, las posiciones de uno o más puntos pueden cuantificarse en función de la precisión. En el nivel más pequeño, la caja delimitador se divide en vóxeles, que son
15 la unidad de espacio más pequeña representada por un cubo unitario. Un vóxel en la caja delimitadora puede estar asociado con cero, uno o más de un punto. La caja delimitadora se puede dividir en múltiples regiones cúbicas/cuboides, que pueden denominarse mosaicos. Cada mosaico se puede codificar
20 en uno o más cortes. La partición de la caja delimitadora en cortes y mosaicos puede basarse en el número de puntos en cada partición o en otras consideraciones (por ejemplo, una región particular puede codificarse como mosaicos). Las regiones de corte se pueden dividir aun más usando decisiones
25 de división similares a las de los códecs de video.

La Figura 2 proporciona una descripción general del codificador de G-PCC 200. La Figura 3 proporciona una descripción general del decodificador de G-PCC 300. Los módulos mostrados son lógicos y no necesariamente corresponden uno a uno al código implementado en la implementación de referencia del códec G-PCC, es decir, el *software* del modelo de prueba TMC13 estudiado por ISO/IEC MPEG (JTC 1/SC 29/WG 11).

Tanto en el codificador de G-PCC 200 como en el decodificador de G-PCC 300, las posiciones de la nube de puntos se codifican primero. La codificación de atributos depende de la geometría decodificada. En la Figura 2 y la Figura 3, los módulos 212, 218, 310 y 314 son opciones usadas normalmente para datos de Categoría 1. Los módulos 220, 222, 316 y 318 son opciones usadas normalmente para datos de Categoría 3. Todos los demás módulos son comunes entre las Categorías 1 y 3.

Para los datos de Categoría 3, la geometría comprimida generalmente se representa como un octree desde la raíz hasta el nivel de la hoja de vóxeles individuales. Para los datos de Categoría 1, la geometría comprimida generalmente se representa mediante un octree podado (es decir, un octree desde la raíz hasta un nivel de hoja de bloques más grandes que los vóxeles) más un modelo que se aproxima a la superficie dentro de cada hoja del octree podado. De esta manera, tanto los datos de Categoría 1

como los de Categoría 3 comparten el mecanismo de codificación de octree, mientras que los datos de Categoría 1 pueden además aproximar los vóxeles dentro de cada hoja con un modelo de superficie. El modelo de superficie usado es una triangulación que comprende de 1 a 10 triángulos por bloque, lo que da como resultado una mezcla de triángulos. Por lo tanto, el códec de geometría de Categoría 1 se conoce como códec de geometría Trisoup, mientras que el códec de geometría de Categoría 3 se conoce como códec de geometría Octree.

La Figura 4 es un diagrama conceptual que ilustra una división de octree de ejemplo para codificación de geometría de acuerdo con las técnicas de esta divulgación. En el ejemplo mostrado en la Figura 4, el octree 400 se puede dividir en una serie de nodos. Por ejemplo, cada nodo puede ser un nodo cúbico. En cada nodo de un octree, el codificador de G-PCC 200 puede señalar una ocupación de un nodo mediante un punto de la nube de puntos al decodificador de G-PCC 300, cuando el decodificador de G-PCC 300 no infiere la ocupación, durante uno o más de los nodos secundarios del nodo, que pueden incluir hasta ocho nodos. Se especifican múltiples vecindades, incluidos (a) nodos que comparten una cara con un nodo de octree actual, (b) nodos que comparten una cara, arista o un vértice con el nodo de octree actual, etc. Dentro de cada vecindad, la ocupación de un nodo y/o sus hijos puede usarse para predecir la ocupación del nodo

actual o sus hijos. Para puntos que están escasamente poblados en ciertos nodos del octree, el códec también admite un modo de codificación directa donde la posición tridimensional del punto se codifica directamente. Se puede
5 señalar un indicador para indicar que se señala un modo directo. Con un modo directo, las posiciones de puntos en la nube de puntos se pueden codificar directamente sin ningún tipo de compresión. En el nivel más bajo, también se puede codificar el número de puntos asociados con el nodo
10 octree/nodo hoja.

Una vez codificada la geometría, se codifican los atributos correspondientes a los puntos de la geometría. Cuando hay múltiples puntos de atributo correspondientes a un punto de geometría reconstruido/decodificado, se
15 puede derivar un valor de atributo que sea representativo del punto reconstruido.

Hay tres procesos de codificación de atributos en G_PCC: Codificación de transformación jerárquica adaptativa de región (RAHT, en inglés), predicción jerárquica del
20 vecino más cercano basada en interpolación (transformación de predicción) y predicción jerárquica del vecino más cercano basada en interpolación con un paso de actualización/elevación (transformación de elevación). RAHT y Lifting Transform se usan normalmente para datos de
25 Categoría 1, mientras que Predicting Transform se usa normalmente para datos de Categoría 3. Sin embargo,

cualquiera de los procesos puede usarse para cualquier dato y, al igual que con los códecs de geometría en G-PCC, el proceso de codificación de atributos usado para codificar la nube de puntos se especifica en el flujo de bits.

5 La codificación de los atributos se puede realizar en un nivel de detalle (LOD, en inglés), donde con cada nivel de detalle se puede obtener una representación más fina del atributo de la nube de puntos. Cada nivel de detalle se puede especificar en función de una métrica de distancia desde los
10 nodos vecinos o en función de una distancia de muestreo.

 En el codificador de G-PCC 200, los residuos obtenidos como salida de los procesos de codificación para los atributos son cuantificados (por ejemplo, por una de las unidades de codificación aritmética 214 y/o 226). Los
15 residuos cuantificados pueden codificarse usando codificación aritmética adaptativa al contexto.

 En el ejemplo de la Figura 2, el codificador de G-PCC 200 puede incluir una unidad de transformada de coordenadas 202, una unidad de transformada de color 204, una unidad de
20 voxelización 206, una unidad de transferencia de atributos 208, una unidad de análisis de octree 210, una unidad de análisis de aproximación de superficies 212, una unidad de codificación aritmética 214, una unidad de reconstrucción de geometría (GRU, en inglés) 216, una unidad de RAHT 218, una
25 unidad de generación de LOD 220, una unidad de elevación 222,

una unidad de cuantificación de coeficientes 224 y una unidad de codificación aritmética 226.

Como se muestra en el ejemplo de la Figura 2, el codificador de G-PCC 200 puede recibir un conjunto de posiciones y un conjunto de atributos. Las posiciones pueden incluir coordenadas de puntos en una nube de puntos. Los atributos pueden incluir información sobre puntos en la nube de puntos, como colores asociados con puntos en la nube de puntos.

La unidad de transformada de coordenadas 202 puede aplicar una transformada a las coordenadas de los puntos para transformar las coordenadas de un dominio inicial a un dominio de transformada. Esta divulgación puede referirse a las coordenadas transformadas como coordenadas de transformada. La unidad de transformada de color 204 puede aplicar una transformada para transformar la información de color de los atributos a un dominio diferente. Por ejemplo, la unidad de transformada de color 204 puede transformar información de color de un espacio de color RGB a un espacio de color YCbCr.

Además, en el ejemplo de la Figura 2, la unidad de voxelización 206 puede voxelizar las coordenadas de transformada. La voxelización de las coordenadas de transformada puede incluir la cuantificación y eliminación de algunos puntos de la nube de puntos. En otras palabras, múltiples puntos de la nube de puntos pueden incluirse dentro

de un único “vóxel”, que a luego puede tratarse en algunos aspectos como un solo punto. Además, la unidad de análisis de octree 210 puede generar un octree en función de las coordenadas de transformada voxelizadas. Además, en el ejemplo de la Figura 2, la unidad de análisis de aproximación de superficies 212 puede analizar los puntos para determinar potencialmente una representación de superficie de conjuntos de los puntos. La unidad de codificación aritmética 214 puede codificar por entropía elementos de sintaxis que representan la información del octree y/o superficies determinadas por la unidad de análisis de aproximación de superficies 212. El codificador de G-PCC 200 puede generar estos elementos de sintaxis en un flujo de bits de geometría.

La unidad de reconstrucción de geometría 216 puede reconstruir coordenadas de transformada de puntos en la nube de puntos en función del octree, datos que indican las superficies determinadas por la unidad de análisis de aproximación de superficies 212 y/u otra información. El número de coordenadas de transformación reconstruidas por la unidad de reconstrucción de geometría 216 puede ser diferente del número original de puntos de la nube de puntos debido a la voxelización y la aproximación de superficie. Esta divulgación puede referirse a los puntos resultantes como puntos reconstruidos. La unidad de transferencia de atributos 208 puede transferir atributos de los puntos originales de la nube de puntos a puntos reconstruidos de la nube de puntos.

Como se muestra en la Figura 2, la unidad de transferencia de atributos 208 puede transferir los atributos a una o ambas de la unidad de RAHT 218 y la unidad de generación de LOD 220.

5 Además, la unidad de RAHT 218 puede aplicar codificación de RAHT a los atributos de los puntos reconstruidos. Alternativa o adicionalmente, la unidad de generación de LOD 220 y la unidad de elevación 222 pueden aplicar procesamiento de LOD y elevación, respectivamente,
10 a los atributos de los puntos reconstruidos. La unidad de RAHT 218 y la unidad de elevación 222 pueden generar coeficientes en función de los atributos. La unidad de cuantificación de coeficientes 224 puede cuantificar los coeficientes generados por la unidad de RAHT 218 o la
15 unidad de elevación 222. La unidad de codificación aritmética 226 puede aplicar codificación aritmética a elementos de sintaxis que representan los coeficientes cuantificados. El codificador de G-PCC 200 puede generar estos elementos de sintaxis en un flujo de bits de
20 atributos.

En el ejemplo de la Figura 3, el decodificador de G-PCC 300 puede incluir una unidad de decodificación aritmética de geometría 302, una unidad de decodificación aritmética de atributos 304, una unidad de síntesis de
25 octree 306, una unidad de cuantificación inversa 308, una unidad de síntesis de aproximación de superficie 310, una

unidad de reconstrucción de geometría 312, una unidad de RAHT 314, una unidad de generación de LoD 316, una unidad de elevación inversa 318, una unidad de coordenadas de transformada inversa 320 y una unidad de color de transformada inversa 322.

El decodificador de G-PCC 300 puede obtener un flujo de bits de geometría y un flujo de bits de atributos. La unidad de decodificación aritmética de geometría 302 del decodificador 300 puede aplicar decodificación aritmética (por ejemplo, codificación aritmética binaria adaptativa al contexto (CABAC, en inglés) u otro tipo de decodificación aritmética) a elementos de sintaxis en el flujo de bits de geometría. De manera similar, la unidad de decodificación aritmética de atributos 304 puede aplicar decodificación aritmética a elementos de sintaxis en el flujo de bits de atributos.

La unidad de síntesis de octree 306 puede sintetizar un octree en función de elementos de sintaxis analizados a partir del flujo de bits de geometría. En los casos en los que se usa aproximación de superficie en el flujo de bits de geometría, la unidad de síntesis de aproximación de superficie 310 puede determinar un modelo de superficie en función de elementos de sintaxis analizados a partir del flujo de bits de geometría y en función del octree.

Además, la unidad de reconstrucción de geometría 312 puede realizar una reconstrucción para determinar

coordenadas de puntos en una nube de puntos. La unidad de coordenadas de transformada inversa 320 puede aplicar una transformada inversa a las coordenadas reconstruidas para convertir las coordenadas reconstruidas (posiciones) de los puntos en la nube de puntos de un dominio de transformación nuevamente a un dominio inicial.

Además, en el ejemplo de la Figura 3, la unidad de cuantificación inversa 308 puede invertir valores de atributos de cuantificación. Los valores de atributos pueden basarse en elementos de sintaxis obtenidos del flujo de bits de atributos (por ejemplo, incluidos elementos de sintaxis decodificados por la unidad de decodificación aritmética de atributos 304). Como se muestra en la Figura 3, la unidad de cuantificación inversa 308 puede transferir los valores de atributos a una o ambas de la unidad de RAHT 314 y la unidad de generación de LOD 316.

Según cómo se codifiquen los valores de atributos, la unidad de RAHT 314 puede realizar codificación de RAHT para determinar, en función de los valores de atributos sometidos a cuantificación inversa, valores de color para puntos de la nube de puntos. Alternativamente, la unidad de generación de LOD 316 y la unidad de elevación inversa 318 pueden determinar valores de color para puntos de la nube de puntos usando una técnica basada en un nivel de detalle.

Además, en el ejemplo de la Figura 3, la unidad de color de transformada inversa 322 puede aplicar una transformada de color inversa a los valores de color. La transformada de color inversa puede ser una transformada de color inversa aplicada por la unidad de transformación de color 204 del codificador de G-PCC 200. Por ejemplo, la unidad de transformada de color 204 puede transformar información de color de un espacio de color RGB a un espacio de color YCbCr. En consecuencia, la unidad de transformada de color inversa 322 puede transformar información de color del espacio de color YCbCr al espacio de color RGB.

Las diversas unidades de la Figura 2 y Figura 3 se ilustran para ayudar a comprender las operaciones realizadas por el codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300. Las unidades pueden implementarse como circuitos de función fija, circuitos programables o una combinación de estos. Circuitos de función fija se refiere a circuitos que proporcionan una funcionalidad particular y están preestablecidos en las operaciones que se pueden realizar. Circuitos programables se refiere a circuitos que se pueden programar para realizar diversas tareas, y proporcionan una funcionalidad flexible en las operaciones que se pueden realizar. Por ejemplo, los circuitos programables pueden ejecutar *software* o *firmware* que hacen que los circuitos programables funcionen de la manera definida por las instrucciones del *software* o *firmware*. Los circuitos de

función fija pueden ejecutar instrucciones de *software* (por ejemplo, para recibir parámetros o parámetros de salida), pero los tipos de operaciones que realizan los circuitos de función fija son generalmente inmutables. En algunos
5 ejemplos, una o más de las unidades pueden ser bloques de circuito distintos (función fija o programable), y, en algunos ejemplos, una o más de las unidades pueden ser circuitos integrados.

La codificación de geometría predictiva se introdujo
10 como una alternativa a la codificación de geometría de octree, donde los nodos están dispuestos en una estructura de árbol (que define la estructura de predicción) y se usan diversas estrategias de predicción para predecir las coordenadas de cada nodo en el árbol con respecto a sus
15 predictores. La Figura 6 es un diagrama conceptual que ilustra un ejemplo de un árbol de predicción 600, un gráfico dirigido donde la flecha apunta en la dirección de predicción. El nodo sombreado horizontalmente es el vértice raíz y no tiene predictores; los nodos sombreados de la
20 cuadrícula tienen dos hijos; el nodo sombreado diagonalmente tiene 3 hijos; los nodos no sombreados tienen un hijo y los nodos sombreados verticalmente son nodos hoja y estos no tienen hijos. Cada nodo tiene un solo nodo padre.

Se pueden especificar cuatro estrategias de
25 predicción para cada nodo en función de su padre (p_0), abuelo (p_1) y bisabuelo (p_2). Las estrategias de predicción

incluyen sin predicción, predicción delta (p_0), predicción lineal ($2 \cdot p_0 - p_1$) y predicción de paralelogramo ($p_0 + p_1 - p_2$).

El codificador (por ejemplo, el codificador de G-PCC 200) puede emplear cualquier algoritmo para generar el árbol de predicción; el algoritmo usado se puede determinar en función de la aplicación/caso de uso y se pueden usar varias estrategias. El codificador puede codificar, para cada nodo, los valores de coordenadas residuales en el flujo de bits a partir del nodo raíz primero en profundidad. La codificación de geometría predictiva puede ser particularmente útil para datos de nube de puntos de Categoría 3 (adquiridos mediante LIDAR), por ejemplo, para aplicaciones de baja latencia.

Se puede usar el modo angular en la codificación de geometría predictiva, donde las características de los sensores LIDAR se pueden usar para codificar el árbol de predicción de manera más eficiente. Las coordenadas de las posiciones se convierten en (r, ϕ, i) (radio, acimut e índice de láser) y se realiza una predicción en este dominio (los residuos se codifican en el dominio r, ϕ, i). Debido a los errores de redondeo, la codificación en r, ϕ, i no carece de pérdidas y, por lo tanto, se puede codificar un segundo conjunto de residuos que corresponden a las coordenadas cartesianas. A continuación se reproduce una descripción de las estrategias de codificación y decodificación usadas para el modo angular para la codificación de geometría

predictiva. La descripción se basa en las Figuras 5A y 5B, que son diagramas conceptuales de un modelo de adquisición de LIDAR giratorio.

Las técnicas de esta divulgación pueden ser aplicables al menos a nubes de puntos adquiridas usando un modelo Lidar giratorio. Aquí, el lidar 502 tiene N láseres (por ejemplo, $N=16, 32, 64$) que giran alrededor del eje Z de acuerdo con un ángulo de acimut ϕ (ver las Figuras 5A y 5B). Cada láser puede tener diferente elevación $\theta(i)_{i=1\dots N}$ y altura $\varsigma(i)_{i=1\dots N}$. El láser i incide en un punto M , con coordenadas de números enteros cartesianas (x, y, z) , definidas de acuerdo con el sistema de coordenadas 500 descrito en la Figura 5A.

La posición de M se modela con tres parámetros (r, ϕ, i) , que se pueden calcular de la siguiente manera:

- $r = \sqrt{x^2 + y^2}$
- $\phi = \text{atan2}(y, x)$
- $i = \arg \min_{j=1\dots N} \{z + \varsigma(j) - r \times \tan(\theta(j))\},$

El proceso de codificación puede usar la versión cuantificada de (r, ϕ, i) , denotada $(\tilde{r}, \tilde{\phi}, i)$, donde los tres números enteros $\tilde{r}, \tilde{\phi}$ e i pueden calcularse de la siguiente manera:

- $\tilde{r} = \text{suelo} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{q_r} + o_r \right) = \text{hipot}(x, y)$
- $\tilde{\phi} = \text{signo}(\text{atan2}(y, x)) \times \text{suelo} \left(\frac{|\text{atan2}(y, x)|}{q_\phi} + o_\phi \right)$
- $i = \arg \min_{j=1\dots N} \{z + \varsigma(j) - r \times \tan(\theta(j))\}$

donde

- (q_r, o_r) y (q_ϕ, o_ϕ) son parámetros de cuantificación que controlan la precisión de $\tilde{\phi}$ y $\tilde{r}$, respectivamente.
- 5 • $signo(t)$ es la función que devuelve 1 si t es positivo y (-1) en caso contrario.
- $|t|$ es el valor absoluto de t .

Para evitar discrepancias en la reconstrucción debido al uso de operaciones de punto flotante, los valores de $\zeta(i)_{i=1\dots N}$ y $\tan(\theta(i))_{i=1\dots N}$ puede precalcularse y cuantificarse de la siguiente manera:

$$\tilde{z}(i) = signo(\zeta(i)) \times suelo\left(\frac{|\zeta(i)|}{q_\zeta} + o_\zeta\right)$$

$$\tilde{t}(i) = signo(\zeta(\tan(\theta(j)))) \times suelo\left(\frac{|\tan(\theta(j))|}{q_\theta} + o_\theta\right)$$

15

donde

- (q_ζ, o_ζ) y (q_θ, o_θ) son parámetros de cuantificación que controlan la precisión de $\tilde{\zeta}$ y $\tilde{\theta}$, respectivamente.

20 Las coordenadas cartesianas reconstruidas se obtienen de la siguiente manera:

- $\hat{x} = redondo(\tilde{r} \times q_r \times app_cos(\tilde{\phi} \times q_\phi))$
- $\hat{y} = redondo(\tilde{r} \times q_r \times app_sin(\tilde{\phi} \times q_\phi))$

- $\hat{z} = \text{redondo}(\tilde{r} \times q_r \times \tilde{t}(i) \times q_\theta - \tilde{z}(i) \times q_\zeta)$

donde `app_cos(.)` y `app_sin(.)` son una aproximación de `cos(.)` y `sin(.)`. Los cálculos podrían realizarse usando una representación de punto fijo, una tabla de consulta e
5 interpolación lineal.

En algunos ejemplos, $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ puede ser diferente de (x, y, z) debido a varias razones, entre ellas:

- cuantificación
- aproximaciones
- 10 - imprecisión del modelo
- imprecisiones en los parámetros del modelo

En algunos ejemplos, los residuos de reconstrucción (r_x, r_y, r_z) se pueden definir de la siguiente manera:

- $r_x = x - \hat{x}$
- 15 - $r_y = y - \hat{y}$
- $r_z = z - \hat{z}$

En este proceso, el codificador de G-PCC 200 puede proceder de la siguiente manera:

- Codificar los parámetros modelo $\tilde{t}(i)$ y $\tilde{z}(i)$ y
20 los parámetros de cuantificación q_r, q_ζ, q_θ y q_ϕ
- Aplicar el esquema predictivo de geometría descrito en G-PCC DIS a la representación $(\tilde{r}, \tilde{\phi}, i)$
 - Se podría introducir un nuevo predictor
25 que aproveche las características del

lidar. Por ejemplo, la velocidad de rotación del escáner lidar alrededor del eje z suele ser constante. Por lo tanto, el decodificador de G-PCC puede predecir el $\tilde{\phi}(j)$ actual de la siguiente manera:

$$\tilde{\phi}(j) = \tilde{\phi}(j-1) + n(j) \times \delta_{\phi}(k)$$

Donde

- 10 ○ $(\delta_{\phi}(k))_{k=1\dots K}$ es un conjunto de velocidades potenciales entre las que el codificador podría elegir. El índice k podría escribirse explícitamente en el flujo de bits o podría inferirse del contexto

15 basado en una estrategia determinista aplicada tanto por el codificador como por el decodificador, y

20 ○ $n(j)$ es el número de puntos omitidos, que podrían escribirse explícitamente en el flujo de bits o podrían inferirse del contexto basado en una estrategia determinista aplicada tanto por el codificador como por el decodificador.

25 ● Codificar con cada nodo los residuos de reconstrucción (r_x, r_y, r_z)

El decodificador de G-PCC 300 puede proceder de la siguiente manera:

- Decodificar los parámetros modelo $\tilde{t}(i)$ y $\tilde{z}(i)$ y los parámetros de cuantificación q_r , q_ζ , q_θ y q_ϕ
- 5 • Decodificar los parámetros $(\tilde{r}, \tilde{\phi}, i)$ asociados con los nodos de acuerdo con el esquema predictivo de geometría descrito en el Borrador de Estándar Internacional (G-PCC Draft International Standard (DIS), en inglés)
- 10 • Calcular las coordenadas reconstruidas $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ como se describió anteriormente
- Decodificar los residuos (r_x, r_y, r_z)
 - Como se analiza en la siguiente sección, la compresión con pérdida podría respaldarse cuantificando los residuos
 - 15 de reconstrucción (r_x, r_y, r_z)
- Calcular las coordenadas originales (x, y, z) de la siguiente manera
 - $x = r_x + \hat{x}$
 - 20 ◦ $y = r_y + \hat{y}$
 - $z = r_z + \hat{z}$

La compresión con pérdida podría lograrse al aplicar cuantificación a los residuos de reconstrucción (r_x, r_y, r_z) o al eliminar puntos.

Los residuos de reconstrucción cuantificados se calculan de la siguiente manera:

- $\tilde{r}_x = \text{signo}(r_x) \times \text{suelo} \left(\frac{|r_x|}{q_x} + o_x \right)$
- $\tilde{r}_y = \text{signo}(r_y) \times \text{suelo} \left(\frac{|r_y|}{q_y} + o_y \right)$
- 5 • $\tilde{r}_z = \text{signo}(r_z) \times \text{suelo} \left(\frac{|r_z|}{q_z} + o_z \right)$

Donde (q_x, o_x) , (q_y, o_y) y (q_z, o_z) son parámetros de cuantificación que controlan la precisión de $\tilde{r}_x$, $\tilde{r}_y$ y $\tilde{r}_z$, respectivamente.

En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC 200 y/o el
10 decodificador de G-PCC 300 pueden usar la cuantificación Trellis para mejorar aún más los resultados de rendimiento de RD (tasa de distorsión). Los parámetros de cuantificación pueden cambiar a nivel de secuencia/cuadro/corte/bloque para lograr una calidad adaptable a la región y con fines de
15 control de velocidad.

Un codificador de G-PCC (por ejemplo, codificador de G-PCC 200 y/o decodificador de G-PCC 300) puede realizar compresión de nube de puntos usando interpredicción. Al usar la interpredicción, el codificador de G-PCC puede
20 usar la redundancia de puntos entre cuadros para proporcionar ahorros adicionales en la velocidad de bits. Los ejemplos en los diversos aspectos de esta divulgación se pueden usar individualmente o en cualquier combinación.

Aunque la discusión se centra predominantemente en el sistema de coordenadas polares, los procesos divulgados en esta solicitud también pueden aplicarse a otros sistemas de coordenadas tales como cartesiano, esférico o cualquier sistema de coordenadas personalizado que pueda usarse para
5 representar/codificar las posiciones y atributos de la nube de puntos.

El codificador de G-PCC puede determinar si codificar un punto usando interpredicción o intrapredicción. Por
10 ejemplo, el codificador de G-PCC puede realizar un análisis para determinar si sería beneficioso (por ejemplo, en términos de velocidad de bits u otras condiciones) codificar un punto particular usando inter o intrapredicción. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede realizar esta
15 determinación de una de las siguientes maneras. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC 200 puede usar un primer conjunto de condiciones durante la codificación, y el decodificador de G-PCC 300 puede usar el primer conjunto de condiciones durante la decodificación. En algunos ejemplos,
20 el codificador de G-PCC 200 puede usar un primer conjunto de condiciones durante la codificación y señalar un elemento de sintaxis que indica el modo de interpredicción, y el decodificador de G-PCC 300 puede determinar el modo en función del elemento de sintaxis señalado.

25 El primer conjunto de condiciones se puede derivar usando una o más características del punto, como la posición

cartesiana, las coordenadas angulares (radio, acimut, elevación), el modo de predicción de los nodos vecinos, etc. Algunos ejemplos de condiciones incluidas en el primer conjunto de condiciones son los siguientes. En una primera
5 condición de ejemplo, el punto pertenece a un cuadro que no es un cuadro intracodificado, o que no corresponde a un punto de acceso aleatorio. En una segunda condición de ejemplo, el acimut del punto actual es diferente del acimut de los puntos previamente decodificados del cuadro actual, o el acimut
10 delta entre el punto actual y el anterior es distinto de cero. En algunos ejemplos, se puede usar una aproximación del acimut delta, o una versión cuantificada del acimut delta, para determinar el modo de interpredicción del nodo actual. En una tercera condición de ejemplo, el punto
15 pertenece a un corte que es de un tipo particular (es decir, se puede aplicar el corte P o el corte B que indica interpredicción). En una cuarta condición de ejemplo, se señala un indicador para indicar si la interpredicción está habilitada para un cuadro particular. Este indicador puede
20 señalarse en un elemento de sintaxis asociado con el cuadro (por ejemplo, corte/encabezado de corte, encabezado de cuadro, etc.) o un conjunto de parámetros al que hace referencia el cuadro. Por ejemplo, se puede señalar una `inter_prediction_enabled_flag` en el conjunto de parámetros
25 de geometría (GPS) para especificar si la interpredicción está habilitada para cuadros/cortes de nube de puntos que

hacen referencia al GPS. Cuando `inter_prediction_enabled_flag` indica que la interpredicción no está habilitada, es posible que no se señale la indicación de interpredicción para puntos en la nube de puntos.

5 En algunos ejemplos, el modo de interpredicción para un punto puede determinarse en función del residuo del acimut o el multiplicador ϕ asociado con el punto.

En algunos ejemplos, la interpredicción (o uno o más modos de interpredicción) puede habilitarse solo cuando el modo angular está habilitado (es decir, la interpredicción puede deshabilitarse cuando el modo angular no está habilitado).

10

El codificador de G-PCC puede elegir un cuadro de referencia. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede usar un cuadro previamente decodificado (o en algunos casos el cuadro anterior en el orden de decodificación) como cuadro de referencia. En otros ejemplos, se puede usar una indicación de un número de cuadro (usando valores LSB o valores de número de cuadro delta) para especificar un cuadro de referencia. De manera más genérica, pueden especificarse dos o más cuadros como cuadros de referencia y un punto puede codificarse con interpredicción a partir de cualquiera de los cuadros de referencia (la indicación del cuadro de referencia asociado con el punto puede señalarse o derivarse).

15

20

25

En otro ejemplo, la predicción se puede realizar a partir de dos o más cuadros (por ejemplo, bipredicción). Como tal, un codificador de G-PCC puede predecir un punto de un cuadro actual en función de un punto de referencia en un primer cuadro de referencia y un punto de referencia en un segundo cuadro de referencia.

El codificador de G-PCC puede usar una pluralidad de modos de interpredicción. Cuando se interpredice un punto, puede haber una o más formas de predecir el punto a partir de un cuadro de referencia. Se pueden usar diferentes valores de modo para especificar cada tipo de predicción (por ejemplo, un codificador de G-PCC puede señalar un elemento de sintaxis que indica un modo de interpredicción usado para un punto actual). Como modo de interpredicción de ejemplo, se puede predecir un punto a partir de un candidato de movimiento cero a partir de un cuadro de referencia (por ejemplo, un punto de referencia en el cuadro de referencia puede ser un candidato de movimiento cero). Como otro ejemplo de modo de interpredicción, se puede predecir un punto a partir de un candidato de movimiento global a partir de un cuadro de referencia. Como otro modo de interpredicción de ejemplo, se puede predecir un punto a partir de un punto candidato a partir de un cuadro de referencia, y se pueden usar otros parámetros (por ejemplo, vector de movimiento, etc.) para especificar el punto candidato.

A continuación se proporcionan algunos detalles sobre ejemplos de diferentes tipos de interpredicción. El codificador de G-PCC puede usar un modo de interpredicción parcial. En un ejemplo, la interpredicción solo puede aplicarse para predecir un subconjunto de las características de un punto en una nube de puntos. Una o más de las características para las cuales no se aplica la intrapredicción pueden codificarse usando intrapredicción o mediante otras técnicas. En un ejemplo, cuando se indica que un punto debe ser interpredicho, el radio del punto se puede predecir a partir de un punto de referencia (o un cuadro de referencia) cuando el modo angular está habilitado, y el acimut y la ID de láser (o elevación) pueden derivarse en función de intrapredicción u otras técnicas. En otro ejemplo, si se indica que un punto debe ser interpredicho, tanto el radio como el acimut del punto se predicen a partir de un punto de referencia (o un cuadro de referencia) cuando el modo angular está habilitado; el codificador de G-PCC puede derivar la ID de láser (o elevación) en función de la intrapredicción u otras técnicas.

El codificador de G-PCC puede realizar la señalización del modo de interpredicción. En algunos ejemplos, el modo de interpredicción asociado con un punto puede señalarse en el flujo de bits. Esto puede indicarse como un indicador o como un valor de modo. En una técnica de señalización de modo de interpredicción de ejemplo, una inter-pred-flag igual a 0

puede indicar que el punto se predice usando intrapredicción, y una inter-pred-flag igual a 1 puede indicar que el punto se predice usando interpredicción. En algunos ejemplos, en función de la indicación de que el punto se predice usando interpredicción, se puede señalar un valor de modo para especificar el proceso para realizar la interpredicción del punto. En otro ejemplo de técnica de señalización de modo de interpredicción, cuando se predice un punto con interpredicción, se puede señalar un valor de modo donde un valor de modo de 0 especifica que el candidato de movimiento 5 cero se usa para la predicción, y un valor de modo de 1 especifica que se usa un candidato de movimiento global para la predicción.

En esta divulgación, el modo de interpredicción se puede usar indistintamente con una indicación de si un 15 punto está codificado con interpredicción y con la técnica de interpredicción particular usada.

Ciertas condiciones pueden afectar la forma en que el codificador de G-PCC señala el modo de interpredicción. En algunos casos, el modo de interpredicción puede señalarse 20 solo cuando se aplica un segundo conjunto de condiciones. El segundo conjunto de condiciones puede derivarse usando una o más características del punto tales como posición cartesiana, coordenadas angulares (radio, acimut, elevación), modo de predicción de nodos vecinos, etc. Una condición de ejemplo 25 incluida en el segundo conjunto de condiciones puede incluir

que el punto pertenece a un cuadro que no es un cuadro intracodificado, o que no corresponde a un punto de acceso aleatorio. Una condición de ejemplo incluida en el segundo conjunto de condiciones puede incluir que el acimut del punto actual sea diferente del acimut de los puntos previamente decodificados, o que el acimut delta entre el punto actual y el anterior sea distinto de cero. En algunos ejemplos, se puede usar una aproximación del acimut delta, o una versión cuantificada del acimut delta, para determinar el modo de interpredicción del nodo actual. Una condición de ejemplo incluida en el segundo conjunto de condiciones puede incluir que el acimut delta entre el punto actual y el anterior sea superior a un umbral; el valor del umbral puede ser fijo o señalarse en el flujo de bits, o derivarse en función de elementos de sintaxis señalados en el flujo de bits.

De manera más general, el segundo conjunto de condiciones puede incluir uno o más criterios, incluidos, entre otros, un valor de acimut delta, un valor de radio delta, un valor de ID de láser delta, un valor de elevación delta. Este valor delta de una característica puede indicarse mediante un valor residual correspondiente que se señala en el flujo de bits para un punto. El segundo conjunto de condiciones también puede incluir valores de coordenadas delta en el dominio cartesiano (delta x, delta y, delta z).

Cuando no se señala un modo de interpredicción para un punto particular, se puede inferir que el modo de

interpredicción es un valor fijo para el punto. Cuando no se señala el modo de interpredicción para un punto, se puede suponer que el valor es 0 (o el valor que especifica la intrapredicción).

5 A continuación se analizarán las optimizaciones de señalización. En algunos casos, es posible que no se señale un modo de interpredicción para todos los puntos y, en cambio, el modo de interpredicción puede derivarse de un elemento de sintaxis señalado en el flujo de bits. Se puede
10 señalar un modo de interpredicción para un árbol de predicción, y el modo de interpredicción puede aplicarse a todos los puntos del árbol de predicción. Se puede señalar un modo de interpredicción en un corte de geometría, y el modo de interpredicción puede aplicarse a todos los puntos
15 del corte. Se puede señalar un modo de interpredicción para un bloque de predicción (especificado como un número fijo de puntos, o un número de puntos señalado, etc.), y el modo de interpredicción puede aplicarse a todos los puntos en el bloque de predicción.

20 En algunos ejemplos, el modo de interpredicción solo puede señalarse a algunos nodos especificados por la profundidad del árbol. Por ejemplo, un modo de interpredicción solo puede señalarse para el nodo raíz de un árbol de predicción.

25 En un ejemplo, cuando se aplica la interpredicción para algunas características del punto (por ejemplo, radio) y la

intrapredicción se aplica a otras características de los puntos (por ejemplo, acimut, ID de láser), solo se puede permitir un subconjunto de los modos de intrapredicción. (por ejemplo, solo se puede permitir el modo 0 de intrapredicción para acimut, identificación por láser). En algunos ejemplos, si solo se permite un modo de intrapredicción, entonces el valor del modo no se señala ni se infiere en el decodificador. En algunos ejemplos, si se permite un subconjunto (dos o más) de modos de intrapredicción, se puede aplicar una codificación más optimizada del elemento de sintaxis del modo (por ejemplo, menos bits pueden ser suficientes para codificar el índice del subconjunto de los modos).

Para cada punto y de manera correspondiente a cada modo de predicción, el codificador de G-PCC puede derivar un valor de predicción de una o más características del punto actual en función de la posición de uno o más puntos en el cuadro de referencia. A continuación se muestra un proceso de predicción de ejemplo:

1a. Cuando se elige un candidato de movimiento cero, se puede elegir un candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular del acimut y la ID de láser (por ejemplo, valor de acimut reconstruido e ID de láser del punto actual); el valor de radio del candidato de predicción se elige como el valor de predicción del radio del nodo actual.

1b. Cuando se elige un candidato de movimiento cero, se puede elegir un candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut e ID de láser (por ejemplo, un valor de acimut y un ID de láser reconstruidos de un punto de movimiento previamente decodificado y reconstruido); los valores de radio, acimut e ID de láser del candidato de predicción se eligen como el valor de predicción de radio, acimut e ID de láser del nodo actual.

2a. Cuando se elige un candidato de movimiento global, se puede elegir un candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut e ID de láser después de la aplicación de compensación de movimiento global al candidato de predicción; el valor de radio del candidato de predicción se elige como el valor de predicción del radio del nodo actual.

2b. Cuando se elige un candidato de movimiento global, se puede elegir un candidato de predicción después de la aplicación de compensación de movimiento global al candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut e ID de láser (por ejemplo, valor de acimut reconstruido e ID de láser de un punto previamente decodificado y reconstruido); los valores de radio, acimut e ID de láser

del candidato de predicción se eligen como el valor de predicción de radio, acimut e ID de láser del nodo actual.

3a. Cuando se elige un candidato genérico, se puede elegir un candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut e ID de láser después de la aplicación del vector de movimiento (asociado con el punto actual) al candidato de predicción; el valor de radio del candidato de predicción se elige como el valor de predicción del radio del nodo actual.

3b. Cuando se elige un candidato genérico, se puede elegir un candidato de predicción después de la aplicación del vector de movimiento al candidato de predicción como el punto con el acimut y la ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut y de ID de láser (por ejemplo, valor de acimut reconstruido e ID de láser de un punto previamente decodificado y reconstruido); los valores de radio, acimut e ID de láser del candidato de predicción se eligen como el valor de predicción de radio, acimut e ID de láser del nodo actual.

En algunos ejemplos, se puede usar un vector de movimiento para derivar un punto que se usa para derivar un radio, un acimut y una identificación láser (o elevación) del punto actual, o una predicción de estos valores. En algunos ejemplos, el vector de movimiento puede

usarse para derivar la predicción de las coordenadas x , y , z , o una predicción de estos valores.

En algunos ejemplos, se puede usar más de un punto en el cuadro de referencia para derivar el valor de predicción.

5 El número de puntos se puede indicar en el encabezado del corte o en el GPS. En algunos ejemplos, se puede señalar un índice de los dos o más puntos en el cuadro de referencia para especificar el punto particular que se usará para la interpredicción. Cuando se elige un candidato de movimiento

10 cero, se eligen dos candidatos de predicción como los dos puntos con los dos acimuts e ID de láser más cercanos correspondientes a un valor particular de acimut e ID de láser; el valor promedio de los radios de los dos candidatos de predicción se elige como el valor de predicción del radio

15 del nodo actual. Cuando se eligen dos o más candidatos de predicción como candidatos para interpredicción (por ejemplo, basado en la proximidad de la identificación del láser y/o el acimut), el candidato de predicción puede elegirse señalando un índice a una lista que comprende los

20 dos o más candidatos de predicción. En algunos ejemplos, también se puede usar como candidato de predicción un promedio ponderado (pesos calculados en base a la diferencia en los valores de ID de láser del punto actual y el predictor y/o una diferencia entre el acimut del punto

25 actual y el predictor).

El codificador de G-PCC puede realizar la preparación del cuadro de referencia. En algunos ejemplos, el cuadro de referencia puede tener compensación de movimiento antes de la interpredicción. Por ejemplo, uno o más puntos de un cuadro de referencia pueden estar asociados con un movimiento (por ejemplo, movimiento global), y la predicción para un cuadro posterior puede obtenerse compensando la posición de los puntos con el movimiento asociado. Este movimiento puede estimarse u obtenerse a partir de información externa (como la información del GPS). Por tanto, el “cuadro de referencia” usado para la interpredicción puede ser un “cuadro de referencia compensado”. En otras palabras, el cuadro de referencia puede ser un cuadro de referencia con compensación de movimiento.

En algunos ejemplos, uno o más puntos en el cuadro de referencia compensado pueden considerarse como candidatos a movimiento cero para el cuadro actual. En algunos ejemplos, los puntos en el cuadro de referencia para los cuales se aplica la compensación de movimiento pueden pertenecer a una característica particular en la nube de puntos (por ejemplo, un objeto), o pueden estar etiquetados (por ejemplo, terrestre, no terrestre) mediante algoritmos de estimación. Los parámetros de movimiento global (por ejemplo, rotación, traslación) pueden señalarse en el flujo de bits.

En algunos ejemplos, además de los parámetros de movimiento globales, se pueden indicar valores de ajuste

adicionales para uno o más de los siguientes: x , y , z ,
radio, acimut, ID de láser. Por ejemplo, cuando el cuadro
predictor se prepara aplicando la compensación de
movimiento (por ejemplo, usando parámetros de movimiento),
5 se puede aplicar uno o más valores de ajustes adicionales
de x , y , z en el dominio cartesiano; se puede aplicar uno
o valores de ajuste adicionales de radio, acimut e ID de
láser en el dominio esférico.

En algunos ejemplos, los valores de ajuste pueden
10 especificarse para toda la secuencia (lo que representa un
ajuste “global”); estos valores también pueden incorporarse
en los parámetros de movimiento global.

En algunos ejemplos, los valores de ajuste pueden
especificarse para un grupo de cuadros (que representa un
15 ajuste de “grupo”); estos valores también pueden
incorporarse en los parámetros de movimiento global.

En algunos ejemplos, los valores de ajuste pueden
especificarse para un cuadro (que representa un ajuste de
“cuadro”); estos valores también pueden incorporarse en los
20 parámetros de movimiento global.

En algunos ejemplos, los valores de ajuste pueden
especificarse para diferentes regiones de la nube de puntos
(lo que representa un ajuste “local”); estos valores
también pueden incorporarse en los parámetros de
25 movimiento global o señalarse como modificaciones al
movimiento global aplicable al cuadro.

Se puede señalar uno o más ajustes globales, de cuadro y locales; cuando más de uno de estos parámetros está presente, los ajustes correspondientes se pueden aplicar en sucesión o juntos (por ejemplo, se puede aplicar un
5 ajuste de x global, de cuadro y local x_g , x_f , x_l , respectivamente como $x_g + x_f + x_l$ para puntos que pertenecen a la región). En otros ejemplos, todos los ajustes en un nivel (por ejemplo, global) se pueden aplicar antes de aplicar los ajustes en un nivel diferente (por ejemplo,
10 cuadro).

El vector de movimiento asociado con el modo de interpredicción de un punto puede señalarse en el flujo de bits. En algunos casos, múltiples puntos pueden compartir el mismo vector de movimiento y pueden señalarse en el corte
15 o en un conjunto de parámetros (por ejemplo, GPS o un conjunto de parámetros usado específicamente para parámetros de movimiento). En algunos casos, el vector de movimiento asociado con un punto particular se puede predecir a partir de puntos vecinos interpredichos
20 espaciales o temporales, y solo se puede señalar la diferencia entre el vector de movimiento real y el predicho.

El codificador de G-PCC puede realizar la selección de contexto. Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar el contexto que se usará para los
25 parámetros/elementos de sintaxis de geometría predictiva en función de uno o más elementos de sintaxis señalados en el

flujo de bits, o variables derivadas de estos. El uso de contextos adicionales puede mejorar la eficiencia de compresión del códec.

En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede
5 usar un primer parámetro asociado con un punto para determinar el contexto para otros elementos de sintaxis asociados con el punto. Por ejemplo, el contexto de uno o más elementos de sintaxis asociados con el multiplicador de phi (por ejemplo, ptn_phi_mult_abs_gt0_flag,
10 ptn_phi_mult_sign_flag, ptn_phi_mult_abs_gt1_flag, ptn_phi_mult_abs_minus2, ptn_phi_mult_abs_minus9) se puede seleccionar en función de un indicador inter.

En un ejemplo, el indicador inter indica si se selecciona un primer conjunto de contextos en caso de que se
15 haya usado interpredicción o si se selecciona un segundo conjunto de contextos en caso de que se haya usado intrapredicción. Esto puede aplicarse a la codificación del multiplicador phi, residuos primarios y secundarios en caso de geometría predictiva con modo angular habilitado
20 (codificación de posición esférica: acimut, radio, elevación o ID de láser).

Si el contexto de un elemento de sintaxis depende de un primer conjunto de condiciones, se puede elegir un contexto cuando el primer conjunto de condiciones es
25 verdadero y el primer parámetro asociado con el punto toma un primer valor, y se puede elegir un segundo contexto

cuando el primer conjunto de condiciones es verdadero y el primer parámetro asociado con el punto toma un segundo valor que es diferente del primer valor.

Se describen diferentes opciones de primer parámetro.

5 Cada opción puede presentar un equilibrio diferente entre eficiencia de compresión y almacenamiento (más contextos pueden requerir más almacenamiento asociado con los estados del contexto). En un ejemplo, el primer parámetro puede ser un indicador `inter` asociado con el punto. En otro ejemplo, 10 el primer parámetro puede ser un modo de predicción (por ejemplo, el modo de predicción usado en geometría predictiva) asociado con el punto. En otro ejemplo, el primer parámetro puede ser una tupla que consiste en el indicador `inter` y el modo de predicción asociado con un punto, por ejemplo 15 (`interFlag`, `predMode`). Cuando hay presente más de un candidato de interpredicción (por ejemplo, candidato de movimiento cero, candidato de movimiento global, etc.), `interPredMode` representa los diversos candidatos de interpredicción (por ejemplo, 0 para intra, 1 para candidato 20 de movimiento cero, 2 para candidato de movimiento global, etc.). El primer parámetro puede ser `interPredMode`.

En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede usar diferentes condiciones/parámetros para diferentes tipos de cuadros. Por ejemplo, para cuadros intracodificados (que no 25 tienen referencia a otros cuadros en la secuencia para predicción), se puede elegir un segundo parámetro para

determinar el contexto descrito en la divulgación, y otros cuadros (por ejemplo, cuadros intercodificados), se puede elegir un tercer parámetro para determinar el contexto descrito en esta divulgación. El segundo y tercer parámetro
5 pueden ser diferentes (por ejemplo, para intracuadros, el modo de predicción se puede elegir como segundo parámetro, y, para intercuadros, la tupla del modo de predicción y el indicador inter se pueden elegir como tercer parámetro). El codificador de G-PCC puede extender una selección de contexto
10 similar a uno o más elementos/componentes de sintaxis (residuos primarios, residuos secundarios, etc.).

La Figura 7 es un diagrama conceptual que ilustra un proceso de interpredicción de ejemplo para predecir puntos de una nube de puntos, de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación. Como se muestra en la Figura 7, el cuadro
15 actual 750 puede incluir una pluralidad de puntos 752A-752L (colectivamente, “puntos 752”) y el cuadro de referencia 754 puede incluir una pluralidad de puntos 756A-756L (colectivamente, “puntos 756”). El cuadro de referencia 754
20 puede ser un cuadro que se codifica y/o reconstruye antes de que el cuadro actual 750 sea decodificado y/o reconstruido (por ejemplo, el cuadro de referencia 754 puede preceder al cuadro actual 750 en un orden de codificación). Un codificador de G-PCC puede usar intrapredicción para predecir
25 uno o más puntos 752 del cuadro actual 750 en función de uno o más puntos 756 del cuadro de referencia 754. Por ejemplo,

un decodificador de G-PCC (o un bucle de reconstrucción de un codificador de G-PCC) puede predecir uno o más parámetros (por ejemplo, (r, ϕ, i)) del punto actual 752A de los puntos 752 en función de uno o más de los puntos 756.

5 Para realizar interpredicción para predecir un punto actual en un cuadro actual, el codificador de G-PCC puede determinar un punto de referencia en un cuadro de referencia que es diferente del cuadro actual y predecir uno o más parámetros del punto actual en función del punto de
10 referencia. Por ejemplo, para predecir el punto actual 752A, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia 756A y predecir uno o más parámetros del punto actual 752A en función de uno o más parámetros de los puntos de referencia 756A. El punto de referencia determinado
15 puede denominarse punto de referencia identificado.

El codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia usando cualquier técnica adecuada. Como ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar, en el cuadro actual, un punto de pivote que precede al punto
20 actual en un orden de codificación; y determinar, en función de uno o más parámetros del punto de pivote, el punto de referencia. Por ejemplo, cuando el orden de codificación es en el sentido contrario a las agujas del reloj, el codificador de G-PCC puede determinar que el
25 punto 752B es el punto anterior del punto actual 752A (por ejemplo, el punto que precede inmediatamente al punto

actual en el orden de codificación) (es decir, determinar que el punto 752B es el punto de pivote), y determinar un punto de referencia en función de uno o más parámetros del punto de pivote 752B.

5 Para determinar el punto de referencia en función de uno o más parámetros del punto de pivote, el codificador de G-PCC puede determinar, en el cuadro de referencia, un punto de pivote de referencia en función de un acimut del punto de pivote; y determinar el punto de referencia en función
10 del punto de pivote de referencia. Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar, en el cuadro de referencia 754, un punto que tiene el mismo acimut (o el mismo acimut y la misma ID de láser) que el punto de pivote 752B. En el ejemplo de la Figura 7, el codificador de G-PCC
15 puede determinar que el punto 756B es el punto de pivote de referencia ya que el punto 756B tiene el mismo acimut que el punto de pivote 752B. Si bien el punto de pivote de referencia en el ejemplo de la Figura 7 corresponde a un punto real (por ejemplo, un punto real en el cuadro 754),
20 las técnicas de esta divulgación no están necesariamente tan limitadas. Por ejemplo, en algunos ejemplos, el punto de pivote de referencia puede ser un punto virtual que no corresponde a un punto reconstruido en el cuadro de referencia 754.

25 En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de pivote de referencia en función de

un acimut real (por ejemplo, sin escala) del punto de pivote. En otros ejemplos, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de pivote de referencia en función de un acimut escalado del punto de pivote. Por ejemplo, el
5 codificador de G-PCC puede determinar el acimut escalado escalando el acimut del punto de pivote en un valor constante.

Para determinar el punto de referencia en función del punto de pivote de referencia, el codificador de G-PCC puede
10 identificar, como punto de referencia en el cuadro de referencia, un punto que tenga un acimut mayor que un acimut del punto de pivote de referencia. Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar cuáles de los puntos 756 tienen valores de acimut mayores que un valor de acimut
15 del punto de pivote de referencia, y seleccionar (del conjunto de puntos 756 que tienen valores de acimut mayores que el valor de acimut del punto de pivote de referencia) el punto que tenga el valor de acimut más pequeño. En este ejemplo de la Figura 7, el punto 756A puede ser el punto
20 en el cuadro de referencia 754 que tenga el acimut más pequeño que sea mayor que el acimut del punto de pivote de referencia 765B. Como tal, el codificador de G-PCC puede identificar el punto 756A como el punto de referencia para realizar la intrapredicción del punto actual 752A.

25 En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia en función de un acimut

real (por ejemplo, sin escala) del punto de pivote de referencia. En otros ejemplos, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia en función de un acimut escalado del punto de pivote de referencia. Por ejemplo, el

5 codificador de G-PCC puede determinar el acimut escalado del punto de pivote de referencia escalando el acimut del punto de pivote a razón de un valor constante. Como tal, en algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia identificando, como punto de referencia, un

10 punto que tenga un acimut escalado más pequeño que sea mayor que el acimut escalado del punto de pivote de referencia (por ejemplo, el punto 756A). En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede usar el punto con el segundo acimut más pequeño mayor que el acimut escalado. Por

15 ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar el punto de referencia identificando, como punto de referencia, un punto que tenga un segundo acimut escalado más pequeño que sea mayor que el acimut escalado del punto de pivote de referencia (por ejemplo, el punto 756L).

20 El codificador de G-PCC puede predecir parámetros del punto actual 752A en función de los parámetros del punto de referencia 756A. Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede señalar datos residuales que representan diferencias entre los parámetros del punto actual 752A y el punto de

25 referencia 756A. El decodificador de G-PCC puede añadir los

datos residuales a los parámetros del punto de referencia 756A para reconstruir los parámetros del punto actual 752A.

Si bien se analizó anteriormente el uso de un único punto de referencia en un único cuadro de referencia, las técnicas de esta divulgación no están tan limitadas. Como ejemplo, se pueden usar colectivamente múltiples puntos de referencia en un único cuadro de referencia para predecir el punto actual. Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede determinar, en un cuadro de referencia y en función de un punto de pivote de referencia, una pluralidad de puntos de referencia. El codificador de G-PCC puede predecir uno o más parámetros de un punto actual en un cuadro actual en función de la pluralidad de puntos de referencia. Como otro ejemplo, se pueden usar puntos de referencia de múltiples cuadros de referencia para predecir el punto actual.

Como se analizó anteriormente, un codificador de G-PCC puede realizar predicción de acimut. $(r, \phi, \text{laserID})$ son las tres coordenadas del punto de pivote (denominado radio, acimut e ID de láser) en el sistema de coordenadas esféricas. Las técnicas divulgadas en la presente también pueden aplicarse a otros sistemas de coordenadas.

En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede codificar puntos en el cuadro de nube de puntos actual de forma ordenada de la siguiente manera:

En primer lugar, para un punto actual en el cuadro actual, el codificador de G-PCC puede elegir un punto de

pivote en el cuadro actual que preceda al primer punto en el orden de decodificación. En algunos ejemplos, el punto de pivote es el punto anterior en el cuadro actual en el orden de decodificación. En algunos ejemplos, el punto de pivote es el segundo punto anterior en el cuadro actual en el orden de decodificación. De manera más general, se puede elegir más de un punto anterior como puntos de pivote del punto actual. En algunos ejemplos, el punto de pivote puede ser un punto virtual derivado en base a un punto previamente decodificado en el cuadro actual y un desplazamiento de acimut que son un múltiplo del valor de la escala de cuantificación de acimut (predeterminado o derivado de elementos de sintaxis señalados).

En segundo lugar, el codificador de G-PCC puede elegir un punto en el cuadro de referencia, punto de pivote de referencia, que esté asociado con el punto de pivote. El punto de pivote de referencia se puede elegir como un punto en el cuadro de referencia que tenga el mismo acimut e ID de láser que el punto de pivote. En algunos ejemplos, los puntos con otros valores de ID de láser también pueden ser candidatos para el punto de pivote de referencia (por ejemplo, el punto de pivote de referencia se puede elegir como el punto en el cuadro de referencia que tenga el mismo acimut que el punto de pivote y la ID de láser en el rango de $[LaserID - M, LaserID + M]$, donde $LaserID$ es la ID de láser del punto de pivote y M es un valor fijo (por ejemplo, 1) o se elige en

función de la distancia del punto de pivote desde el origen,
o se deriva en función de LaserID (por ejemplo, para valores
más pequeños de LaserID, M puede ser menor y para valores
más grandes de LaserID, M puede ser mayor)). En algunos
5 ejemplos, se puede definir una métrica de distancia usando
el acimut y la ID de láser, y el punto de pivote de referencia
se elige como el punto que tiene la distancia más pequeña
desde el acimut y la ID de láser del punto de pivote usando
la métrica de distancia. Se puede obtener un valor de acimut
10 normalizado escalando el acimut a razón de un primer valor
constante; se puede obtener una ID de láser normalizada
escalando la ID de láser a razón de un segundo valor
constante; la métrica de distancia se puede obtener
calculando una norma (por ejemplo, norma L_2 , norma L_1) para
15 la ID de láser normalizada y el valor de acimut del punto de
pivote y los puntos de referencia. De manera más general, el
punto de pivote de referencia puede elegirse como un punto
en el cuadro de referencia que esté en la vecindad de puntos
con el mismo acimut e ID de láser que el punto de pivote. En
20 algunos ejemplos, el punto de pivote de referencia puede ser
un punto virtual en el cuadro de referencia que derive del
punto de pivote que tenga el mismo acimut e ID de láser que
el punto de pivote.

En tercer lugar, el codificador de G-PCC puede elegir
25 un punto de referencia en el cuadro de referencia que esté
asociado con el punto de pivote de referencia. El punto de

referencia se puede elegir como el punto en el cuadro de referencia que tenga el acimut más pequeño que sea mayor que el del punto de pivote de referencia y la misma ID de láser que el punto de pivote de referencia. El punto de referencia se puede elegir como el punto en el cuadro de referencia que tenga el segundo acimut más pequeño que sea mayor que el del punto de pivote de referencia y la misma ID de láser que el punto de pivote de referencia. En algunos ejemplos, cuando el punto de referencia no está disponible, la interpredicción puede desactivarse para el punto actual. En algunos ejemplos, el punto de referencia puede elegirse como punto de pivote de referencia.

En cuarto lugar, el codificador de G-PCC puede calcular un primer residuo entre el punto de referencia y el punto de pivote de referencia.

En quinto lugar, el codificador de G-PCC puede usar el primer residuo para derivar una primera predicción para el valor actual. La predicción se puede derivar sumando los componentes del primer residuo a los componentes respectivos del punto de pivote (por ejemplo, la predicción del radio se puede obtener sumando el componente de radio del primer residuo al componente de radio del punto de pivote (de manera similar para acimut)). En algunos ejemplos, se puede establecer que la primera predicción sea igual al punto de referencia.

En sexto lugar, el codificador de G-PCC puede codificar un segundo residuo entre la primera predicción y la posición del punto actual.

En séptimo lugar, composición del residuo: uno o más
5 residuos divulgados en esta divulgación pueden incluir uno o más de los siguientes: el residuo puede comprender un residuo de radio entre el punto de pivote de referencia y el punto de referencia. El residuo puede comprender un residuo de acimut entre el punto de pivote de referencia
10 y el punto de referencia.

En octavo lugar, el codificador de G-PCC puede derivar un punto actual en función de la primera predicción y el segundo residuo. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede derivar el punto actual del segundo residuo (por
15 ejemplo, y no en función de la primera predicción).

El codificador de G-PCC puede aplicar una o más técnicas descritas anteriormente a un valor de acimut cuantificado; el valor de escala usado para la cuantificación puede derivarse de valores señalados o estar predeterminado. El
20 valor de acimut cuantificado y la ID de láser se pueden usar para buscar un punto interpretado en la referencia. Por ejemplo, se puede cuantificar el acimut de un punto previamente decodificado y reconstruido y se puede seleccionar un punto interpretado con un acimut cuantificado
25 y una ID de láser que sea los más cercanos al acimut cuantificado y la ID de láser del punto anterior como

predictor para el acimut, radio e ID de láser del punto actual, ya sea como predictor cuantificado/descuantificado o no cuantificado.

El codificador de G-PCC puede aplicar una o más técnicas
5 descritas anteriormente a un valor de ID de láser cuantificado; el valor de escala usado para la cuantificación puede derivarse de valores señalados o estar predeterminado. El acimut y el valor de ID de láser cuantificado se pueden usar para buscar un punto interpredicho en la referencia.
10 Por ejemplo, la ID de láser de un punto previamente decodificado y reconstruido puede cuantificarse y un punto interpredicho con un acimut y una ID de láser cuantificada que sean los más cercanos al acimut y a la ID de láser cuantificada del punto anterior puede seleccionarse como
15 predictor para el acimut, radio e ID de láser del punto actual, ya sea como predictor cuantificado/descuantificado o no cuantificado.

El codificador de G-PCC puede aplicar una o más técnicas descritas anteriormente a un acimut cuantificado y un valor
20 de ID de láser cuantificado; los valores de escala usados para la cuantificación pueden derivarse de valores señalados o estar predeterminados. El acimut cuantificado y el valor de ID de láser cuantificado se pueden usar para buscar un punto interpredicho en la referencia. Por ejemplo, el acimut
25 y la ID de láser de un punto previamente decodificado y reconstruido se pueden cuantificar y un punto interpredicho

con un acimut cuantificado y una ID de láser cuantificada que sean los más cercanos al acimut cuantificado y a la ID de láser cuantificada del punto anterior se puede seleccionar como predictor para el acimut, radio e ID de láser del punto actual, ya sea como predictor cuantificado/descuantificado o no cuantificado.

En algunos ejemplos, el cuadro de referencia puede hacer referencia a un conjunto de tuplas (radio, acimut, ID de láser) que se derivan del cuadro de referencia. Por ejemplo, para cada punto en el cuadro de referencia, el codificador de G-PCC puede añadir un radio, acimut e ID de láser al conjunto si no hay otro punto en el conjunto que tenga el mismo acimut que la ID de láser. En algunos casos, se puede añadir un valor cuantificado de acimut. En algunos casos, se puede añadir un $(r, \text{phi}, \text{laserID})$ incluso si hay otra tupla en el conjunto con el mismo phi e ID de láser, por ejemplo, $(r_1, \text{phi}, \text{laserID})$, si el valor de r es menor que el valor r_1 (en este caso, la tupla $(r_1, \text{phi}, \text{laserID})$ que estaba presente puede ser reemplazada por la nueva $(r, \text{phi}, \text{laserID})$). En algunos casos, los puntos del cuadro de referencia pueden estar en el dominio x, y, z ; los puntos pueden almacenarse como referencia tal como están o convirtiéndolos al dominio esférico. En algunos casos, se puede añadir una posición con compensación de movimiento al cuadro de referencia. La compensación puede basarse en un vector de movimiento (por ejemplo, un vector de movimiento

global con rotación y/o traslación) señalado que esté asociado con el cuadro actual y el cuadro de referencia.

El codificador de G-PCC puede realizar la selección de contexto para modos de interpredicción. Como se analizó anteriormente, el codificador de G-PCC puede señalar un indicador de interpredicción y un modo de interpredicción. El contexto que ha de usar el codificador de G-PCC para codificar el indicador de interpredicción o el modo de interpredicción puede elegirse de la siguiente manera: el codificador de G-PCC puede configurar $b_1, b_2, b_3, \dots, b_N$ para que sean los valores de indicador de interpredicción para los N puntos previamente decodificados (b_1 es el nodo inmediatamente anterior, b_2 , inmediatamente anterior a b_1 , etc). El codificador de G-PCC puede elegir el índice de contexto como el número generado usando $b_1, b_2, \dots, b_N$ de la siguiente manera: $ctxIdx = b_1 + b_2 \ll 1 + b_3 \ll 2 + \dots b_N \ll (N-1)$. En otro ejemplo, el codificador de G-PCC puede elegir el índice de contexto como $b_1 + b_2 + \dots + b_N$. En algunos ejemplos, el valor de $b_1, b_2, \dots, b_N$ también se puede usar para elegir el contexto de otros elementos de sintaxis, como el modo de interpredicción, vector de movimiento, etc. En algunos ejemplos, N podría fijarse en 5.

El codificador de G-PCC puede realizar una codificación residual de radio mejorada. El radio, el acimut y la ID de láser asociados con cada punto pueden codificarse en codificación de geometría predictiva. El

residuo del componente de radio de cada punto puede codificarse con un indicador “equal_to_zero”, un bit de signo, un número de bits para el residuo restante y/o el residuo restante. El número de bits puede ser un indicador
5 de la magnitud relativa del residuo de radio. Cuando los puntos capturados por LIDAR están cerca unos de otros en la nube de puntos (por ejemplo, puntos de un objeto o edificio capturados por uno de los láseres), es posible que el radio no cambie mucho entre los puntos. Dado que el
10 objeto (muy probablemente sólido) es continuo, los puntos de escaneo de LIDAR sucesivos pueden devolverse al sensor donde la diferencia de acimut entre puntos sucesivos esté cerca de la frecuencia de muestreo del acimut. La diferencia en el acimut, o residuo de acimut, para puntos
15 adyacentes (del mismo láser) en un objeto es cercana a cero.

El contexto del número de bits de residuo de radio se elige en función del residuo de acimut del punto actual. Por ejemplo, en función de la magnitud del residuo de
20 acimut, el contexto se puede cambiar de la siguiente manera, donde N es un valor fijo (señalado o predeterminado). La Tabla 1, a continuación, proporciona un ejemplo de índice de contexto para el número de bits usados en el número de bits para el residuo de radio N .

Tabla 1: Índice de contexto para el número de bits usados en número de bits para el residuo de radio

Abs (azimResi)	N=3	N=4
0	1	1
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	0	4
>=5	0	0

Téngase en cuenta que también se pueden usar otros
 5 procesos para elegir el índice de contexto en función del residuo de radio.

Los siguientes ejemplos específicos muestran implementaciones de varias técnicas de esta divulgación.

Ejemplo A

10 Para cada punto en los cuadros de nube de puntos que no están totalmente intracodificados (punto de acceso aleatorio), se puede usar un indicador para especificar si un punto está codificado con interpredicción. Cuando se aplica la interpredicción, se elige un candidato de “vector
 15 de movimiento cero” para predecir el radio del punto predicho desde un punto en un cuadro de referencia que tenga el mismo valor de ID de láser que el punto actual y que tenga el valor de acimut cuantificado más cercano que el punto actual. Los cambios en la estructura de sintaxis se proporcionan a
 20 continuación (las etiquetas <ADD>...</ADD> indican adiciones y las etiquetas <DELETE>... </DELETE> indican eliminaciones):

geometry_predtree_node(nodeIdX) {	Descriptor
if(geom_scaling_enabled_flag && !(nodeIdX % PtnQpInterval)) {	
ptn_qp_offset_abs_gt0_flag	ae(v)
if(ptn_qp_offset_abs_gt0_flag) {	
ptn_qp_offset_sign_flag	ae(v)
ptn_qp_offset_abs_minus1	ae(v)
}	
}	
if(unique_geometry_points_flag) {	
ptn_point_cnt_gt1_flag	ae(v)
if(ptn_point_cnt_gt1_flag)	
ptn_point_cnt_minus2	ae(v)
}	
ptn_child_cnt[nodeIdX]	ae(v)
ptn_pred_mode[nodeIdX]	ae(v)
if(geometry_angular_enabled_flag) {	
ptn_phi_mult_abs_gt0_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt0_flag) {	
ptn_phi_mult_sign_flag	ae(v)
ptn_phi_mult_abs_gt1_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt1_flag)	
ptn_phi_mult_abs_minus2	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_minus2 == 7)	
ptn_phi_mult_abs_minus9	ae(v)
}	
}	
<ADD>if(PtnPhiMult[nodeIdx] && InterEnableFlag)	
ptn_inter_flag[nodeIdX]	u(1) </ADD>
numComp = geometry_angular_enabled_flag && !number_lasers_minus1 ? 2 : 3	
for(k = 0; k < numComp; k++) {	
ptn_residual_abs_gt0_flag[k]	ae(v)
if(ptn_residual_abs_gt0_flag[k]) {	
if(k ptn_pred_mode[nodeIdX] <ADD> ptn_inter_flag[nodeIdX] </ADD>)	
ptn_residual_sign_flag[k]	ae(v)
ptn_residual_abs_log2[k]	ae(v)
ptn_residual_abs_remaining[k]	ae(v)
}	
}	
if(geometry_angular_enabled_flag)	
for(k = 0; k < 3; k++) {	

ptn_sec_residual_abs_gt0_flag[k]	ae(v)
if(ptn_sec_residual_abs_gt0_flag[k]) {	
ptn_sec_residual_sign_flag[k]	ae(v)
ptn_sec_residual_abs_gt1_flag[k]	ae(v)
if(ptn_sec_residual_abs_gt1_flag[k])	
ptn_sec_residual_abs_minus2[k]	ae(v)
}	
}	
for(i = 0; i < ptn_child_cnt[nodeIdX]; i++)	
geometry_predtree_node(++PtnNodeIdx)	
}	

<ADD>

ptn_inter_flag [nodeIdx] igual a 0 especifica que el residuo de radio del nodo actual está codificado con intrapredicción.

- 5 ptn_inter_flag[nodeIdX] igual a 1 especifica que el residuo de radio del nodo actual está codificado con interpredicción. Cuando no está presente, se infiere que el valor de ptn_inter_flag[nodeIdX] es igual a 0.

</ADD>

- 10 El valor de InterEnableFlag se establece en 0 cuando el cuadro de nube de puntos actual es un punto de acceso aleatorio o un cuadro totalmente intra, y se establece en 1 en caso contrario.

- 15 En algunos ejemplos, cuando ptn_inter_flag es igual a 1, el elemento de sintaxis ptn_pred_mode[] no se señala y se infiere que es un valor predeterminado (por ejemplo, igual a 0 correspondiente al modo de geometría predictiva 0).

Los cambios en el proceso de predicción de posición son los siguientes:

Proceso de predicción de posición

Las entradas a este proceso son:

- 5 - la variable `predMode` indica el modo de predicción del nodo actual,
 - las matrices `aPos0`, `aPos1`, y `aPos2`, con valores `aPosX[ k ]`, $k = 0 \dots 2$, y $X = 0 \dots 2$. Cada matriz contiene la posición asociada con el nodo ancestro de la X -ésima generación en el orden transversal del árbol primero en profundidad,
 - 10 - la variable `curDepth`, que indica la distancia en nodos entre el nodo actual y el
 - 15 nodo raíz del árbol predictivo actual,
- <ADD>
- Una variable `interFlag` que indica si el radio del nodo actual se codifica con interpredicción.

20 </ADD>

El resultado de este proceso es la matriz `predPos`, con valores `predPos[ k ]`, $k = 0 \dots 2$, que indica la posición del punto previsto asociado con el nodo del árbol `nodeIdx`-ésimo.

25 Cuando `predMode` es igual a 0, la posición del punto previsto se calcula de la siguiente manera:

```

for (k = 0; k < 3; k++)
    predPos[k] = 0
if (geometry_angular_enabled_flag) {
    predPos[0] = ptn_radius_min_value
5   if (curDepth > 0) {
        predPos[1] = aPos0[1]
        predPos[2] = aPos0[2]
    }
}

10     Cuando predMode es igual a 1, la posición de punto
predicha es la posición asociada con el primer ancestro.
for (k = 0; k < 3; k++)
    predPos[k] = aPos0[k]

    Cuando predMode es igual a 2, la posición de punto
15 predicha es una combinación lineal de las posiciones
asociadas con los dos primeros ancestros.
for (k = 0; k < 3; k++)
    predPos[k] = aPos0[k] + aPos0[k] - aPos1[k]

    De lo contrario, predMode es igual a 3, la posición de
20 punto predicha es una combinación lineal de las posiciones
asociadas con los tres ancestros.
for (k = 0; k < 3; k++)
    predPos[k] = aPos0[k] + aPos1[k] - aPos2[k]
<ADD>

25     Cuando interFlag es igual a 1, predPos[ 0 ] se deriva
de la siguiente manera. Que refFramePos[ k ] para k = 0..2

```

sea la posición del punto en el cuadro de referencia de modo tal que `refFramePos[ 2 ] = predPos [ 2 ]` y la diferencia absoluta entre el valor de `refFramePos[ 1 ]` y `predPos [ 1 ]` estén en su nivel más bajo entre los puntos del cuadro de referencia. `predPos[ 0 ]` se establece igual a `refFramePos[ 0 ]`.

</ADD>

En un ejemplo, se usa un valor cuantificado de `refFramePos[ 1 ]` y `predPos [ 1 ]` para medir la diferencia absoluta de valores, donde la escala de cuantificación puede ser un número fijo (por ejemplo, `geom_angular_acimuth_step_minus1 + 1`).

Ejemplo B

En el ejemplo B, el modo de predicción puede no señalarse cuando se usa interpredicción. Por ejemplo, cuando se usa interpredicción, se infiere que el modo de predicción es igual a 0. Los cambios en la estructura de sintaxis se proporcionan a continuación (las etiquetas <ADD>...</ADD> indican adiciones y las etiquetas <DELETE>... </DELETE> indican eliminaciones):

<code>}</code>	
<code>ptn_child_cnt[nodeId]</code>	<code>ae (v)</code>
<code><DELETE> ptn_pred_mode[nodeId]</code>	<code>ae (v)</code> <code></DELETE></code>
<code>if(geometry_angular_enabled_flag) {</code>	
<code>ptn_phi_mult_abs_gt0_flag</code>	<code>ae (v)</code>
<code>if(ptn_phi_mult_abs_gt0_flag) {</code>	
<code>ptn_phi_mult_sign_flag</code>	<code>ae (v)</code>

ptn_phi_mult_abs_gt1_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt1_flag)	
ptn_phi_mult_abs_minus2	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_minus2 == 7)	
ptn_phi_mult_abs_minus9	ae(v)
}	
}	
<ADD>if(PtnPhiMult[nodeIdx] && InterEnableFlag)	
ptn_inter_flag[nodeIdx]	u(1)
if(!ptn_inter_flag[nodeIdx])	
ptn_pred_mode[nodeIdx]	ae(v) </ADD>
numComp = geometry_angular_enabled_flag && !number_lasers_minus1 ? 2 : 3	
for(k = 0; k < numComp; k++) {	

Cuando no se señala ptn_pred_mode[nodeIdx], se puede inferir que ptn_pred_mode[nodeIdx] es igual a 0. En algunos ejemplos, se puede añadir la siguiente inferencia:

5 cuando ptn_inter_flag[nodeIdx] es igual a 1, se infiere que ptn_pred_mode[nodeIdx] es igual a 0.

Ejemplo C

En el ejemplo C, no se puede modificar el orden de señalización de phi y el modo de predicción. La señalización del modo de predicción puede depender de la señalización del indicador inter. La señalización de ptn_phi_mult_abs_gt0_flag también puede depender del indicador inter. Los cambios en la estructura de sintaxis se proporcionan a continuación (las etiquetas

10 <ADD>...</ADD> indican adiciones y las etiquetas

15 <DELETE>... </DELETE> indican eliminaciones):

}	
ptn_child_cnt [nodeIdx]	ae(v)
<ADD>si(InterEnableFlag)	
ptn_inter_flag [nodeIdx]	u(1)
if(!ptn_inter_flag[nodeIdx])	
ptn_pred_mode [nodeIdx]	ae(v) </ADD>
if(geometry_angular_enabled_flag) {	
<ADD>si(!ptn_inter_flag[nodeIdx]) </ADD>	
ptn_phi_mult_abs_gt0_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt0_flag) {	
ptn_phi_mult_sign_flag	ae(v)
ptn_phi_mult_abs_gt1_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt1_flag)	
ptn_phi_mult_abs_minus2	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_minus2 == 7)	
ptn_phi_mult_abs_minus9	ae(v)
}	
}	
numComp = geometry_angular_enabled_flag && !number_lasers_minus1 ? 2 : 3	
for(k = 0; k < numComp; k++) {	

Cuando no se señala `ptn_inter_flag[ nodeIdx ]`, se infiere que `ptn_inter_flag[ nodeIdx ]` es igual a 0.

Cuando no se señala `ptn_phi_mult_abs_gt0_flag[ nodeIdx ]`, se infiere que `ptn_phi_mult_abs_gt0_flag[ nodeIdx ]` es igual a 0. En otro ejemplo, se añade la siguiente inferencia: cuando `ptn_inter_flag[ nodeIdx ]` es igual a 1, se infiere que `ptn_phi_mult_abs_gt0_flag[ nodeIdx ]` es igual a 1.

10 Ejemplo D

En el ejemplo D, no se puede cambiar el orden del modo pred y los elementos de sintaxis phi. Por ejemplo, el

indicador inter puede señalarse después del modo pred pero antes de los elementos de sintaxis phi.

}	
ptn_child_cnt [nodeIdX]	ae(v)
ptn_pred_mode [nodeIdX]	ae(v)
<ADD>if(InterEnableFlag && !ptn_pred_mode[nodeIdX])	
ptn_inter_flag [nodeIdX]	u(1) </ADD>
if(geometry_angular_enabled_flag) {	
<ADD> si(!ptn_inter_flag[nodeIdX]) </ADD>	
ptn_phi_mult_abs_gt0_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt0_flag) {	
ptn_phi_mult_sign_flag	ae(v)
ptn_phi_mult_abs_gt1_flag	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_gt1_flag)	
ptn_phi_mult_abs_minus2	ae(v)
if(ptn_phi_mult_abs_minus2 == 7)	
ptn_phi_mult_abs_minus9	ae(v)
}	
}	
numComp = geometry_angular_enabled_flag && !number_lasers_minus1 ? 2 : 3	
for(k = 0; k < numComp; k++) {	

Cuando ptn_pred_mode[nodeIdX] es mayor que 0 e
5 InterEnableFlag es igual a 1 (ptn_inter_flag[] no está
señalado), se infiere que ptn_inter_flag[nodeIdX] es 0.

Ejemplo E

El ejemplo E es similar al ejemplo A, con la
modificación de que la señalización del indicador inter
10 también depende del valor de pred_mode. Se añade la
totalidad de la siguiente sintaxis.

if((PtnPhiMult[nodoIdx] !ptn_pred_mode[nodoIdx]) && InterEnableFlag)	
--	--

<code>ptn_inter_flag[nodeIdX]</code>	<code>u(1)</code>
--	-------------------

Cuando `InterEnableFlag` es igual a 1 y `PtnPhiMult[ nodeIdX ]` es igual a 0 o `ptn_pred_mode[ nodeIdX ]` no es igual a 0, se infiere que
5 `ptn_inter_flag[ nodeIdX ]` es igual a 0.

Ejemplo F

En este ejemplo, la predicción del radio, `predPos[ 0 ]`, se obtiene no solo comparando el acimut de los puntos que tienen la misma ID de láser que el punto actual, sino
10 también los puntos de ID de láser adyacentes.

Cuando `interFlag` es igual a 1, el codificador de G-PCC puede derivar `predPos[ 0 ]` de la siguiente manera. El codificador de G-PCC puede configurar `refFramePos[ k ]` para $k = 0..2$ para que sea la posición del punto en el cuadro
15 de referencia de modo que `refFramePos[ 2 ]` tome uno de los valores en $\{ \text{predPos}[2] - 1, \text{predPos}[2], \text{predPos}[2] + 1 \}$ y la diferencia absoluta entre el valor de `refFramePos[ 1 ]` y `predPos[ 1 ]` está en su nivel más bajo entre los puntos del cuadro de referencia. El codificador
20 de G-PCC puede establecer `predPos[ 0 ]` igual a `refFramePos[ 0 ]`.

En un caso, se pueden considerar puntos de más ID de láser en el cuadro de referencia para obtener el punto de referencia.

En otro caso, en lugar de comparar el acimut (es decir, `refFramePos[ 1 ]` y `predPos [ 1 ]`), se puede especificar una función de costo ponderado de la siguiente manera:

$$J(\text{refPos}) = w1 * f1(\text{refPos}[1], \text{predPos}[1]) + w2 * f2$$

5
$$(\text{refPos}[2], \text{predPos}[2])$$

El punto en el cuadro de referencia con posición `refPos[ k ]` para $k = 0..2$, que se elige para predecir el radio, es el punto que tiene el valor más pequeño de $J(\text{refPos})$.

10 En un caso, el valor de $f1(x, y)$ puede ser un cuadrado de una diferencia entre x e y , o más generalmente cualquier función que indique una distancia entre el punto actual y el punto de referencia en la dimensión del acimut (o segunda).

En un caso, el valor de $f2(x, y)$ puede ser un cuadrado
15 de diferencia/diferencia absoluta entre x e y , o más generalmente cualquier función que indique una distancia entre el punto actual y el punto de referencia en la ID de láser (o tercera) dimensión.

En otro caso, se puede elegir más de un candidato de
20 referencia para un punto y se puede señalar un índice de candidato interpredicción para especificar qué candidato de referencia se elige para el punto.

Por ejemplo, para un punto actual, los tres puntos en el cuadro de referencia se pueden elegir de la siguiente
25 manera:

- Punto con identificadores láser iguales a $\text{predPos}[2] - 1$ que tiene un valor de acimut más cercano a $\text{predPos}[1]$
 - Punto con identificadores láser iguales a $\text{predPos}[2]$ que tiene un valor de acimut más cercano a $\text{predPos}[1]$
 - Punto con identificadores láser iguales a $\text{predPos}[2] + 1$ que tiene un valor de acimut más cercano a $\text{predPos}[1]$
- Se puede señalar un índice de este conjunto/lista para especificar el punto que se elige para la predicción.
- De manera más general, para cada punto actual codificado con interpredicción de radio:
- Se elige un cuadro de referencia en función de una decisión predeterminada (por ejemplo, el cuadro decodificado anterior) o en función de una o más indicaciones señaladas (por ejemplo, el índice del cuadro/valor del contador).
 - Se elige un conjunto `RefCandSuperSet` entre puntos en el marco de referencia en función de un primer conjunto de condiciones (por ejemplo, uno o más procesos divulgados en la presente basados en el rango de ID de láser y/o el rango de acimut)

- Se elige un subconjunto RefCandSubset de RefCandSuperSet en función de un segundo conjunto de condiciones (por ejemplo, el acimut más cercano desde el punto actual para una ID de láser particular, etc.)
- Si RefCandSubset tiene más de una entrada, organice las entradas en una lista RefCandList según un tercer conjunto de condiciones (por ejemplo, organice las entradas según la diferencia creciente de identificación del láser desde el punto actual); de lo contrario (solo un candidato en RefCandSubset), se usa el único candidato en RefCandSubset para la predicción.
- Señalar un índice a la entrada en RefCandList que se utiliza para la predicción.
- Utilizar la entrada de predicción para predecir el radio del punto actual.

En algunos ejemplos, cuando no existe ningún punto en el cuadro de referencia en RefCandSubset, la interpredicción puede desactivarse y, en este caso, el interindicador puede señalarse o no.

Ejemplo G

De acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación, un codificador de G-PCC puede señalar, en un flujo de bits,

parámetros para derivar la cuantificación/escala de acimut. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC puede interpredecir los tres componentes usando un punto previamente decodificado en un cuadro de nube de puntos actual.

El valor de escala de acimut (usado para derivar el candidato de interpredicción) puede señalarse en el GPS de la siguiente manera:

geometry_parameter_set() {	Descriptor
gps_geom_parameter_set_id	u(4)
...	
}	
gps_extension_flag	u(1)
if(gps_extension_flag) {	
inter_prediction_enabled_flag	u(1)
if(inter_prediciton_enabled_flag && pred_geom_enabled_flag)	
inter_azim_scale_log2	ue(v)
}	
byte_alignment()	
}	

En algunos ejemplos, `inter_azim_scale_log2` puede señalarse independientemente de `inter_prediction_enabled_flag`.

En otros ejemplos, el modo angular también se puede usar para condicionar la señalización de `inter_azim_scale_log2`.

if (inter_prediction_enabled_flag && pred_geom_enabled_flag && geom_angular_enabled_flag)	
inter_azim_scale_log2	ue(v)

A continuación se muestran ejemplos de semántica para los elementos de sintaxis antes mencionados.

inter_prediction_enabled_flag igual a 1 especifica que se puede usar interpredicción para los cuadros de nube de puntos que hacen referencia al GPS.

5 **inter_prediction_enabled_flag** igual a 0 especifica que no se usa interpredicción para los cuadros de nube de puntos que hacen referencia al GPS.

inter_azim_scale_log2 se usa para escalar los puntos de acimut que pueden usarse en la derivación de la referencia de interpredicción.

10 El valor de **inter_azim_scale_log2** estará en el rango de 0 a **numAzimBits**, inclusive.

(La variable **numAzimBits** puede especificar un número máximo de bits usados para representar el acimut).

15

En algunos ejemplos, el elemento de sintaxis **inter_azim_scale_log2** puede ser un ejemplo de un elemento de sintaxis que especifica un valor log base 2 de un factor de escala. Un codificador de G-PCC puede determinar acimuts escalados (por ejemplo, un acimut escalado de un punto de pivote) en función del factor de escala.

20

Cuando se codifica un cuadro, una posición esférica reconstruida de uno o más puntos en el cuadro puede almacenarse en un cuadro de referencia que puede ser usado como referencia de interpredicción por un cuadro futuro.

25

La posición esférica reconstruida se puede almacenar en una tabla hash de la siguiente manera:

- El codificador de G-PCC puede obtener una representación de coordenadas esféricas para un punto reconstruido.
- El codificador de G-PCC puede obtener un acimut derivado y un índice de láser del punto reconstruido y utilizar la tupla del acimut derivado y el índice de láser como índice para la tabla hash.

Por ejemplo, el codificador de G-PCC puede derivar el acimut cuantificado obtenido, denominado `quantized(val)`, de la siguiente manera:

```
int offset = azimScaleLog2 ? (1 << (azimScaleLog2 - 1)):0;
quantized(val) = val >= 0 ? (val + offset) >> azimScaleLog2
                : -((-val + offset) >> azimScaleLog2);
```

Téngase en cuenta que, en algunos casos, es posible que `azimScaleLog2` no se señalice ni se infiera en uno de los siguientes:

- El valor 0 (es decir, sin cuantificación).
- La potencia más pequeña de 2 que es menor o igual a la velocidad de acimut señalada en el flujo de bits.

- La potencia más pequeña de 2 que es menor o igual a $(\text{velocidad de acimut}/2)$ señalada en el flujo de bits.

Diferentes secuencias pueden tener diferentes valores
5 de escala de acimut.

- Cada entrada en la tabla hash puede derivarse de uno o más puntos reconstruidos.
- En un ejemplo, la entrada de la tabla hash de un cuadro puede ser el primer punto en
10 el orden de decodificación en el cuadro reconstruido que tenga un valor particular de acimut derivado e índice de láser.
- En un ejemplo, la entrada de la tabla hash de un cuadro puede ser el punto en el
15 cuadro reconstruido que tenga el radio más pequeño entre los puntos que tengan un valor particular de acimut derivado e índice de láser.
- En otro ejemplo más, la entrada de la
20 tabla hash de un cuadro puede ser el valor de punto que corresponda al promedio, la media, la mediana, el promedio ponderado, la media geométrica, etc. calculados usando los puntos que
25 tengan un valor particular de acimut derivado e índice de láser.

En algunos ejemplos, se puede ingresar la posición de un punto reconstruido en el dominio esférico (r , ϕ , laserID) en la tabla de acimut de la siguiente manera:
Índice de la tabla = ($\text{quantized}(\phi)$, laserID), entrada de
5 la tabla = (r , ϕ , laserID).

Al codificar un punto actual (en un cuadro actual), se pueden realizar los siguientes pasos:

- El codificador G-PCC puede establecer $\text{prevNode} = (r_1, \phi_1, \text{laserID}_1)$ para que sea
10 el nodo anterior en el cuadro actual en el orden de decodificación. En algunos ejemplos, el nodo anterior se puede elegir como nodo padre del nodo actual.
- En la tabla asociada al cuadro de referencia,
15 el codificador de G-PCC puede verificar si existe un índice ($\text{quantized}(\phi)$, laserID_1) donde $\text{quantized}(\phi)$ sea mayor que $\text{quantized}(\phi_1)$. Si dicho índice no existe, es posible que el codificador de G-PCC no
20 aplique la interpredicción para el nodo actual. Si existe al menos un índice así, el codificador de G-PCC puede elegir el índice con el menor $\text{quantized}(\phi)$ (que sea mayor que $\text{quantized}(\phi_1)$).
- El codificador de G-PCC puede usar la entrada
25 asociada con el índice elegido anteriormente

(r_inter, phi_inter, laserId_inter) como
interpredictor para el punto actual.

En algunos ejemplos, el siguiente código se puede usar para implementar la técnica anterior con una combinación de
5 matrices de tablas hash (en lugar de una tabla hash 2D), donde computePhiQuantized() corresponde a la función quantize() descrita anteriormente. En el siguiente caso, refPointVals es el vector de tablas hash que almacena los puntos de referencia, refPointVals[currLaserId] es la tabla
10 hash que corresponde al índice laserID = currLaserId, y todas las entradas en refPointVals[currLaserId] se almacenan con valores crecientes de quantized(phi). Debido a que esta tabla se almacena con quantized(phi) creciente, se usa la función upper_bound para buscar el primer láser
15 quantized(phi) que sea mayor que el acimut actual cuantificado quantized(currAzim). En el siguiente ejemplo, idx es igual a refPointVals[currLaserId].end(), no existe dicho índice de tabla y, por lo tanto, no se usa la interpredicción. Cuando está presente, idx->segundo
20 especifica el candidato de interpredicción (r_inter, phi_inter, laserID_inter).

En algunos ejemplos, es posible que la tabla hash no almacene los puntos con un valor creciente de quantized(phi) y, en su lugar, use una función hash para
25 analizar y recuperar las entradas de la tabla. En otro ejemplo, se puede usar una estructura de datos/tabla

genérica para almacenar los puntos del cuadro de referencia. Como se señaló anteriormente, se puede usar el siguiente código para implementar la técnica anterior.

```
auto quantizedPhi = ComputePhiQuantized
5      (currAzim);

      if (refPointVals[currLaserId].size()) {
          auto idx = refPointVals[currLaserId].
              upper_bound(quantizedPhi);
          if (idx == refPointVals[currLaserId].end())
10         return std::pair<bool, point_t>(false, 0);
          else
              return std::pair<bool, point_t>(true,
                  idx->second);
      }
15     return std::pair<bool, point_t>(false, 0);
```

- Si se usa la interpredicción, el codificador de G-PCC puede señalar un indicador que indique que se usa la interpredicción.
- Se usa el candidato de interpredicción derivado anteriormente para codificar el residuo (en el decodificador, se usa el candidato de predicción para añadir el residuo y derivar la posición de coordenadas esféricas reconstruida del punto actual).

25 La codificación de geometría predictiva usa una estructura de árbol de predicción para predecir las

posiciones de los puntos. Cuando la codificación angular está habilitada, las coordenadas x , y , z se pueden transformar en radio, acimut e ID de láser y los residuos se pueden señalar en estas tres coordenadas, así como en las dimensiones x , y , z . La intrapredicción usada para radio, acimut e ID de láser puede ser uno de cuatro modos y los predictores son los nodos que se clasifican como padre, abuelo y bisabuelo en el árbol de predicción con respecto al nodo actual. La codificación de geometría predictiva, tal como está diseñada actualmente en G-PCC Ed.1, es una herramienta de intracodificación ya que usa puntos en el mismo cuadro para la predicción. Además, el uso de puntos de cuadros previamente decodificados puede proporcionar una mejor predicción y, por tanto, un mejor rendimiento de compresión.

Se ha propuesto la interpredicción para predecir el radio de un punto a partir de un cuadro de referencia. Para cada punto en el árbol de predicción, un codificador de G-PCC puede determinar si el punto está interpredicho o intrapredicho (por ejemplo, indicado mediante un indicador). Cuando está intrapredicho, se pueden usar los modos de intrapredicción de codificación de geometría predictiva. Cuando se usa la interpredicción, el acimut y la ID de láser aún se predicen con intrapredicción, mientras que el radio se puede predecir desde el punto en el cuadro de referencia que tiene la misma ID de láser que el punto actual y un acimut más cercano al acimut actual. En algunos ejemplos, un

codificador de G-PCC puede realizar interpredicción del acimut y la ID de láser (por ejemplo, además de la predicción del radio). Cuando se aplica la intercodificación, el codificador de G-PCC puede predecir el radio, el acimut y la ID de láser del punto actual en función de un punto que está cerca de la posición del acimut de un punto previamente decodificado en el cuadro de referencia. Además, se pueden usar conjuntos separados de contextos para la inter e intrapredicción.

Como se analizó anteriormente, la Figura 7 ilustra un ejemplo de interpredicción del punto actual (curPoint) a partir de un punto (interPredPt) en el cuadro de referencia. La extensión de la interpredicción al acimut, radio e ID de láser puede incluir los siguientes pasos:

- Para un punto dado, el codificador de G-PCC puede elegir el punto decodificado anterior (prevDecP0).
- El codificador de G-PCC puede elegir la posición en el cuadro de referencia (refFrameP0) que tenga el mismo acimut escalado e ID de láser que prevDecP0.
- En el cuadro de nube de puntos de referencia, el codificador de G-PCC puede encontrar el primer punto (interPredPt) que tenga un acimut mayor que el de refFrameP0. El interPredPt

también puede denominarse interpredictor
“Siguiente”.

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un
flujo de decodificación de ejemplo asociado con el
5 “indicador inter” que se señala para cada punto. El
indicador inter señalado para un punto indica si se aplica
la interpredicción para ese punto. Los diagramas de flujo
de esta divulgación se proporcionan como ejemplos. Otros
ejemplos pueden incluir más, menos o diferentes pasos, o
10 los pasos pueden realizarse en diferentes órdenes.

En el ejemplo de la Figura 8, el decodificador de G-PCC
300 puede determinar si un indicador inter de un siguiente
punto a decodificar (es decir, un punto actual de un cuadro
actual de datos de nube de puntos) indica que el punto actual
15 está interpredicho (800). Si el indicador inter del punto
actual no indica que el punto actual está interpredicho (rama
“NO” de 800), el decodificador de G-PCC 300 puede identificar
un candidato de intrapredicción (812). Por ejemplo, el
decodificador de G-PCC 300 puede determinar una estrategia
20 de intrapredicción (por ejemplo, sin predicción, predicción
delta, predicción lineal, predicción de paralelogramo, etc.)
para determinar un predictor para el punto actual. Un
elemento de sintaxis (pred_mode) señalado en el flujo de bits
de geometría 203 puede indicar la estrategia de
25 intrapredicción a usar para determinar el predictor para el
punto actual.

Por otro lado, si el indicador inter para el punto actual indica que el punto actual está interpredicho (rama “Sí” de 800), el decodificador de G-PCC 300 puede identificar un punto anterior en el orden de decodificación (por ejemplo, el punto anterior 708) (802). El punto anterior puede tener coordenadas (r, phi y laserID). El decodificador de G-PCC 300 puede entonces derivar una coordenada phi cuantificada (es decir, coordenada de acimut) del punto anterior (804). La coordenada phi cuantificada se puede indicar como $Q(\phi)$. El decodificador de G-PCC 300 puede entonces comprobar un cuadro de referencia (por ejemplo, el cuadro de referencia 706) en busca de puntos (es decir, puntos de interpredicción (por ejemplo, interPredPt 704)) que tengan coordenadas phi cuantificadas mayores que la coordenada phi cuantificada del punto anterior (806). El decodificador de G-PCC 300 puede usar el punto de interpredicción como predictor para el punto actual (808).

Independientemente de si el decodificador de G-PCC 300 determina el predictor para el punto actual usando intrapredicción (por ejemplo, como se describe con respecto al paso 812) o usando interpredicción (por ejemplo, como se describe con respecto a los pasos 802-808), el decodificador de G-PCC 300 puede añadir un multiplicador delta phi (810).

El sistema de LIDAR puede escanear y muestrear el contenido en una frecuencia de acimut particular. El

codificador de G-PCC 200 puede señalar el acimut de un punto usando un valor residual de acimut (resAz2). El residuo de acimut no es la diferencia directa entre el acimut del punto actual y el acimut del predictor para el punto actual (que puede determinarse mediante inter o intrapredicción). Más bien, el codificador de G-PCC 200 codifica el residuo de acimut como una combinación de un multiplicador delta phi y un residuo. Por ejemplo, azimSpeed puede representar la diferencia de acimut entre capturas sucesivas de uno de los sensores de LIDAR giratorios (cabe señalar que hay múltiples sensores en cada sistema de LIDAR giratorio). Por lo tanto, si cada sensor de LIDAR en el sistema de LIDAR giratorio captura 1000 puntos por rotación, azimSpeed sería $(1 \ll \text{azimBitDepth}) / 1000$, efectivamente la diferencia de acimut entre capturas de puntos adyacentes. Aquí, azimBitDepth es una profundidad de bits usada para representar el valor de acimut en el codificador de G-PCC 200. $(1 \ll \text{azimBitDepth})$ representa una rotación completa (de 360 grados). Por lo tanto, $(1 \ll \text{azimBitDepth}) / 1000$ representa la diferencia entre el acimut de dos capturas. Aunque los sensores LIDAR pueden diseñarse para tomar muestras a intervalos constantes en una rotación, la diferencia entre los valores de acimut de capturas adyacentes puede no ser azimSpeed o un múltiplo de azimSpeed debido al ruido y otras imprecisiones. Un primer residuo de acimut resAz1 , que es la diferencia en el acimut del

punto actual y el predictor, se codifica como una combinación del multiplicador delta phi (qphi) y un segundo residuo de acimut (resAz2). qphi se puede derivar de la siguiente manera:

5

```
qphi = deltaPhi >= 0 ? (deltaPhi +  
(_geomAngularAzimuthSpeed >> 1)) / _geomAngularAzimuthSpeed  
      : -(-deltaPhi + (_geomAngularAzimuthSpeed >>  
1)) / _geomAngularAzimuthSpeed;
```

10 El valor del residuo de acimut codificado, resAz2, se obtiene como resAz1 - deltaPhi * azimuthSpeed. Tanto qphi como resAz2 están señalados en el flujo de bits. El decodificador de G-PCC 300 puede decodificar resAz2 y qphi. El decodificador de G-PCC 300 puede obtener el residuo de acimut
15 reconstruido (resAz1) como resAz2 + qphi * azimuthSpeed.

La Figura 9 es un diagrama conceptual que ilustra un punto interpredictor adicional 900 de ejemplo obtenido a partir del primer punto que tiene un acimut mayor que un punto interpredictor 914. En el método de interpredicción
20 para geometría predictiva descrito anteriormente con respecto a la Figura 7, el radio, el acimut y la ID de láser de un punto actual (punto actual 700) se predicen en función de un punto (punto de interpredicción 704) que está cerca de la posición de acimut colocada (posición de
25 referencia 710) en un cuadro de referencia (cuadro de referencia 706) cuando se aplica intercodificación. En el

ejemplo de la Figura 9, el codificador de G-PCC 200 y el decodificador de G-PCC 300 pueden determinar el punto interpredictor adicional 900 usando los siguientes pasos:

- a) para un punto dado (punto actual 900 de un cuadro actual 904), determinar un punto anterior 902 en el cuadro actual 904 (“punto de dec anterior” en la Figura 9);
- b) determinar una posición de referencia 906 en un cuadro de referencia 908 que tenga el mismo acimut escalado y la misma ID de láser que el punto anterior 902 determinado en el paso a) (“punto de referencia con el mismo acimut escalado e ID de láser” en la Figura 9),
- c) determinar una posición en el cuadro de referencia 908 como el primer punto que tiene un acimut (por ejemplo, acimut escalado) mayor que la posición de referencia 906 determinada en el paso b), que se usará como el punto interpredictor (punto interpred 910 en la Figura 9).

Se puede obtener un punto interpredictor adicional encontrando el primer punto que tenga un acimut (por ejemplo, acimut escalado) mayor que el punto de interpredicción 910 determinado en el paso c) como se muestra en la Figura 9 (“punto de interpredicción adicional 912” en la Figura 9).

Puede usarse señalización adicional para indicar cuál de los predictores se selecciona si se ha aplicado intercodificación. El punto interpredictor adicional también puede denominarse interpredictor “NextNext”.

5 En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC 200 (por ejemplo, la unidad de codificación aritmética 214 del codificador de G-PCC 200) y el decodificador de G-PCC 300 (por ejemplo, la unidad de decodificación aritmética de geometría 302 del decodificador de G-PCC 300) pueden
10 aplicar un algoritmo de selección de contexto mejorado para codificar el indicador de interpredicción. Los valores del indicador de interpredicción de los cinco puntos previamente codificados pueden usarse para seleccionar el contexto del indicador de interpredicción en la
15 codificación de geometría predictiva.

Las técnicas antes mencionadas pueden presentar una o más desventajas. La interpredicción usa puntos en un cuadro de referencia para predecir puntos en un cuadro determinado. En algunos ejemplos, se puede usar un cuadro de referencia
20 con compensación cero y, en algunos casos, se puede usar un cuadro de referencia con compensación de movimiento global para la predicción. En el cuadro con compensación de movimiento cero, los puntos en el cuadro de referencia se usan sin aplicar compensación de movimiento; el cuadro de
25 referencia con compensación de movimiento global se obtiene del cuadro de referencia (con compensación cero) mediante

compensación de movimiento en función de un conjunto de parámetros de movimiento; estos parámetros pueden derivarse, por ejemplo, usando técnicas de estimación de movimiento, u obtenerse de medios externos, por ejemplo, usando parámetros
5 de GPS, o del movimiento del automóvil que captura la nube de puntos). Cuando se aplica compensación de movimiento a puntos en el cuadro de referencia, las ubicaciones de los puntos se modifican y esto da como resultado una reducción en la eficiencia de la codificación.

10 De acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación, un codificador de G-PCC puede realizar un remuestreo en un cuadro de referencia (por ejemplo, un cuadro de referencia con compensación cero, un cuadro de referencia no compensado, etc.). La referencia con compensación cero generalmente se
15 refiere a una compensación con movimiento y rotación cero. En muchos casos, las referencias con compensación cero y sin compensación son equivalentes.

Un codificador de G-PCC puede realizar selectivamente una operación de remuestreo en un punto de un cuadro de
20 referencia de la siguiente manera:

- Para cada punto pt en el cuadro de referencia (con compensación cero), el codificador de G-PCC puede determinar si se debe aplicar remuestreo para este punto.
- 25 - Si no se aplica remuestreo, el codificador de G-PCC puede retener el punto tal como está.

- De lo contrario (se aplica remuestreo), el codificador de G-PCC puede elegir (por ejemplo, seleccionar) un primer conjunto de puntos en el cuadro de referencia global compensado (GlobRef) que están asociados con *pt*.
5
- Para uno o más componentes de *pt*, el codificador de G-PCC puede derivar un valor del primer conjunto de puntos; y usar el valor derivado para *pt* para el componente correspondiente.
10
 - o Por ejemplo, si el punto *pt* se representó con (*r*, *phi*, *laserId*) como componentes y *r_d* se derivó del radio del primer conjunto de puntos, el punto *pt* se actualiza como (*r_d*, *phi*, *laserId*) y se retiene.
15

A continuación se describen pasos individuales de una operación de remuestreo de ejemplo que están asociados con el punto *pt*:
20

El codificador de G-PCC determina si se debe aplicar remuestreo a un punto:

- El codificador de G-PCC puede determinar si se debe aplicar el remuestreo a un punto usando la siguiente condición:
25

o Si el punto pertenece a la carretera o si pertenece a edificios/otros objetos en la escena. Los puntos de “carretera” pueden estar determinados por uno o más umbrales que se señalan en el flujo de bits; por ejemplo, si dos umbrales a_1 y a_2 son dos umbrales z señalados que son indicativos de puntos de carretera, no se aplica el remuestreo para los puntos que tienen un valor z en el rango de $[a_1, a_2)$; para otros puntos se aplica el remuestreo.

- En algunos ejemplos, se pueden remuestrear todos los puntos.

El codificador de G-PCC elige un primer conjunto de puntos asociados con un punto actual pt en el cuadro con compensación cero, de la siguiente manera:

- Para un punto dado pt con componentes (r, ϕ, lId) , el primer conjunto de puntos en GlobRef se puede elegir como puntos que están cerca del punto colocado en GlobRef.

- o Por ejemplo, puntos en GlobRef que tengan un valor de ID de láser igual a lId y acimut en el rango de $[\phi - \delta, \phi + \delta]$ donde δ es un valor fijo basado en la ID de láser.

o En otro ejemplo, se puede usar un valor de escala de acimut para determinar un valor de acimut cuantificado de todos los puntos (por ejemplo, ϕ_i se puede cuantificar a ϕ_iQ). Los puntos en un cuadro de referencia asociado con un valor de acimut cuantificado ϕ_iQ pueden considerarse parte de un contenedor asociado con ϕ_iQ . El primer conjunto de puntos puede determinarse como puntos en GlobRef que tienen una ID de láser igual a lId y que pertenecen a:

- el contenedor asociado con ϕ_iQ ,
- el primer contenedor no vacío que está asociado con un valor de acimut cuantificado mayor que ϕ_iQ , y
- el primer contenedor no vacío que está asociado con un valor de acimut cuantificado menor que ϕ_iQ .

- El codificador de G-PCC recorta el primer conjunto de puntos a uno o dos puntos que tengan el valor de acimut más cercano a ϕ_i .

o En un ejemplo, si un punto P_1 (r_a , ϕ_i_a , lId) perteneciente a GlobRef y asociado con el contenedor ϕ_iQ está presente:

- Si $\phi_a = \phi$, solo P1 se retiene en el primer conjunto.
- Si $\phi_a > \phi$, P1 se retiene y otro punto P2 (r_b, ϕ_b, lId) se elige de modo tal que $\phi_b < \phi$.
- Si $\phi_a < \phi$, P1 se retiene y otro punto P3 (r_c, ϕ_c, lId) se elige de modo tal que $\phi_c > \phi$.

Si dicho punto P1 no está presente, se eligen dos puntos P2 (r_b, ϕ_b, lId) y P3 (r_c, ϕ_c, lId) del primer conjunto de modo tal que $\phi_b < \phi$ y $\phi_c > \phi$.

Si uno o más de los puntos P2 o P3 no están disponibles en GlobRef, es posible que los puntos no disponibles no se incluyan en el primer conjunto de puntos.

El codificador de G-PCC puede derivar el valor de radio de los puntos del primer conjunto de la siguiente manera (esto también podría aplicarse a otros componentes):

- Si solo hay un punto (r_x, ϕ_x, lId) en el primer conjunto, el radio del punto pt se actualiza como r_x . En otras palabras, el punto pt se actualiza de (r, ϕ, lId) a (r_x, ϕ, lId).
- Si dos o más puntos están presentes en el primer conjunto, el radio del punto pt se

obtiene como un valor que se interpola a partir de los valores de radio de los puntos del primer conjunto.

El siguiente ejemplo de las técnicas de esta divulgación se proporciona como referencia. En un ejemplo, un codificador de G-PCC puede derivar un cuadro de referencia global compensado GlobRef y actualizar puntos en el cuadro de referencia con compensación cero ZeroRef usando un remuestreo en función de puntos en GlobRef. El codificador de G-PCC puede usar el cuadro de referencia con compensación cero actualizado (remuestreado) para interpredicción.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica de ejemplo sobre cómo se pueden usar puntos remuestreados para interpredicción, de acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación. En el ejemplo de la Figura 10, el codificador de G-PCC (por ejemplo, el codificador de G-PCC 200 o el decodificador de G-PCC 300) determina que un punto actual en un cuadro actual se va a predecir usando un modo de interpredicción. En respuesta a la determinación de predecir el punto actual en el cuadro actual usando el modo de interpredicción, el codificador de G-PCC identifica un cuadro de referencia con compensación cero, por ejemplo, ZeroRef, asociado con el cuadro actual (1002). El codificador de G-PCC deriva un cuadro de referencia con compensación de movimiento, por ejemplo, GlobRef, asociado con el cuadro

actual (1004) y remuestrea selectivamente puntos en el cuadro de referencia con compensación cero en función de uno o más puntos en el cuadro de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia con compensación cero remuestreado (1006). El codificador de G-PCC interpreta el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia con compensación cero remuestreado (1008).

La operación anterior (remuestreo) también se puede implementar como remuestreo de los puntos en GlobRef usando valores de acimut de ZeroRef. Para cada punto PT en ZeroRef, el codificador de G-PCC puede determinar si se debe aplicar remuestreo al punto. En caso afirmativo, el codificador de G-PCC puede elegir un primer conjunto de puntos de GlobRef; obtener un valor de radio interpolado r_{int} del primer conjunto de puntos y actualizar el valor de radio de PT con el valor de radio interpolado r_{int} .

La Figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra una técnica de ejemplo sobre cómo se pueden remuestrear puntos en GlobRef usando puntos de ZeroRef, de acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación. Para remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia con compensación cero, el codificador de G-PCC selecciona un punto particular en el cuadro de referencia con compensación cero (1102) y determina si se debe remuestrear o no el punto particular (1104). En respuesta a la determinación de

remuestrear el punto particular, el codificador de G-PCC determina un primer conjunto de puntos en el cuadro de referencia con compensación de movimiento que están asociados con el punto particular (1106) y deriva, en función del primer
5 conjunto de puntos, un valor de radio derivado (1108). El codificador de G-PCC actualiza, en función del valor de radio derivado, un valor de radio del punto particular (1110).

Las Figuras 12A-12D son diagramas conceptuales que ilustran cómo se puede elegir un primer conjunto de puntos
10 1202, 1204 y 1206 en GlobRef para un punto 1208 en ZeroRef, de acuerdo con uno o más aspectos de esta divulgación. Todos los puntos mostrados en las Figuras 12A-12D pueden tener la misma ID de láser. Las líneas continuas 1210, 1212, 1214 y 1216 pueden indicar límites de contenedores
15 de acimut (todos los valores de acimut dentro de un contenedor se cuantifican al mismo valor). La línea de puntos 1218 indica el valor de acimut igual al acimut del punto 1208. En función de la disponibilidad del punto en GlobRef en el mismo contenedor de acimut que el punto 1208
20 y la diferencia entre los valores de acimut de los puntos 1202, 1204 y 1206 (si están disponibles) y el punto 1208, el codificador de G-PCC puede elegir el primer conjunto de puntos de los puntos 1202, 1204 y 1206.

En el ejemplo de la Figura 12A, el punto 1204 está
25 presente en el mismo contenedor de acimut que el punto 1208, y el acimut de 1204 es igual al acimut del punto 1208. En

base a esto, el codificador de G-PCC puede seleccionar el primer conjunto de puntos como el punto 1204 (por ejemplo, incluir el punto 1204 en el primer conjunto de puntos).

En el ejemplo de la Figura 12B, el punto 1204 está
5 presente en el mismo contenedor de acimut que PT, y el acimut del punto 1204 es mayor que el acimut del punto 1208. En base a esto, el codificador de G-PCC puede seleccionar el primer conjunto de puntos como los puntos 1202 y 1204 (por ejemplo, incluir el punto 1202 y el punto
10 1204 en el primer conjunto de puntos).

En el ejemplo de la Figura 12C, el punto 1204 está presente en el mismo contenedor de acimut que el punto 1208, y el acimut del punto 1204 es menor que el acimut del punto 1208. En base a esto, el codificador de G-PCC puede
15 seleccionar el primer conjunto de puntos como 1204 y 1206 (por ejemplo, incluir los puntos 1204 y 1206 en el primer conjunto de puntos).

En el ejemplo de la Figura 12D, el punto 1204 no está presente en el mismo contenedor de acimut que el punto
20 1208. En base a esto, el codificador de G-PCC puede seleccionar el primer conjunto de puntos como los puntos 1202 y 1206 (por ejemplo, incluir los puntos 1202 y 1206 en el primer conjunto de puntos).

Cuando el primer conjunto de puntos contiene solo un
25 punto (r_x , ϕ_x , lId), el radio del punto PT puede establecerse igual a r_x . Cuando el primer conjunto de

puntos contiene dos puntos (r_x , ϕ_x , lId) y (r_y , ϕ_y , lId), el radio del punto PT puede establecerse igual a r_{xy} que puede derivarse de la siguiente manera:

```
delAzim = phi_x - phi_y
5 delRad = r_x - r_y
if (delRad == 0 || delAzim == 0)
    r_xy = r_x
else
    r_xy = r_x + (phi_PT - phi_x) * delRad / delAzim
```

10 El ejemplo anterior muestra una interpolación lineal de los puntos de radio (por ejemplo, una interpolación de los puntos del primer conjunto de puntos), pero también se pueden usar interpoladores de orden superior (por ejemplo, cúbicos, etc.) y el número de puntos en el primer conjunto también
15 puede ser más de dos.

En algunos ejemplos, como cuando delRad es mayor que un umbral particular (por ejemplo, 1024 o 2048), es posible que el codificador de G-PCC no realice la interpolación.

En algunos ejemplos, como cuando delAzim es mayor que
20 un umbral particular, o cuando un valor cuantificado de delAzim es mayor que un umbral particular (delAzim cuantificado con un valor de escala de acimut es mayor que N, donde N es un número fijo, por ejemplo, 4), es posible que el codificador de G-PCC no realice la interpolación.

25 En algunos ejemplos, como cuando no se realiza la interpolación (por ejemplo, debido al umbral), es posible

que el codificador de G-PCC no actualice el punto en ZeroRef. En algunos ejemplos, como cuando no se realiza la interpolación (por ejemplo, debido al umbral), el codificador de G-PCC puede establecer el punto en cuanto
5 al radio de los puntos que tienen un acimut más cercano a ϕ_{PT} (por ejemplo, si $\text{abs}(\phi_{PT} - \phi_x)$ es $< \text{abs}(\phi_{PT} - \phi_y)$), entonces r_{xy} puede establecerse igual a r_x ; de lo contrario, r_{xy} se establece igual a r_y).

La Figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra una
10 técnica de ejemplo para realizar interpredicción, de acuerdo con una o más técnicas de esta divulgación. En el ejemplo de la Figura 10, el codificador de G-PCC (por ejemplo, el codificador de G-PCC 200 o el decodificador de G-PCC 300) identifica un cuadro de referencia (1302) y
15 deriva uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia (1304).

El codificador de G-PCC remuestrea selectivamente puntos en el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para
20 generar un cuadro de referencia remuestreado (1306). Para remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia, el codificador de G-PCC puede configurarse para seleccionar un punto particular en el cuadro de referencia; determinar si se debe remuestrear o no el punto
25 particular; y, en respuesta a la determinación de remuestrear el punto particular, determinar un primer

conjunto de puntos en el cuadro de referencia que están asociados con el punto particular, en donde el primer conjunto de puntos incluye al menos uno del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento, 5 derivar, en función del primer conjunto de puntos, un valor de radio derivado, y actualizar, en función del valor de radio derivado, un valor de radio del punto particular. Para derivar el valor de radio derivado en función del primer conjunto de puntos, el codificador de G-PCC puede 10 configurarse para interpolar selectivamente valores de radio para una pluralidad de puntos para determinar el valor de radio derivado, en donde el primer conjunto de puntos incluye la pluralidad de puntos. Para interpolar selectivamente los valores de radio para la pluralidad de 15 puntos, el codificador de G-PCC puede configurarse para determinar no interpolar valores de radio para un primer punto y un segundo punto de la pluralidad de puntos en respuesta a uno o ambos de una diferencia de valores de radio del primer punto y el segundo punto es mayor que un 20 primer valor umbral o una diferencia de valores de acimut del primer punto y el segundo punto es mayor que un segundo valor umbral.

El codificador de G-PCC puede configurarse para abstenerse de actualizar el valor de radio del punto 25 particular en función del valor de radio derivado en respuesta a la determinación de no interpolar los valores de

radio para la pluralidad de puntos. El codificador de G-PCC puede configurarse para establecer el valor de radio del punto particular como un valor de radio de un único punto del primer conjunto de puntos en respuesta a la determinación de no interpolar los valores de radio de la pluralidad de puntos. El único punto del primer conjunto de puntos puede ser, por ejemplo, el punto que tenga un valor de acimut más cercano a un valor de acimut del punto particular.

El codificador de G-PCC interpredice el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado (1308). El codificador de G-PCC puede reconstruir una nube de puntos que incluya el punto actual.

La Figura 14 es un diagrama conceptual que ilustra un sistema de determinación de rango 1400 de ejemplo que puede usarse con una o más técnicas de esta divulgación. En el ejemplo de la Figura 14, el sistema de determinación de rango 1400 incluye un iluminador 1402 y un sensor 1404. El iluminador 1402 puede emitir luz 1406. En algunos ejemplos, el iluminador 1402 puede emitir luz 1406 como uno o más rayos láser. La luz 1406 puede estar en una o más longitudes de onda, como una longitud de onda infrarroja o una longitud de onda de luz visible. En otros ejemplos, la luz 1406 no es una luz láser coherente. Cuando la luz 1406 encuentra un objeto, tal como el objeto 1408, la luz 1406 crea la luz de retorno 1410. La luz de retorno 1410 puede incluir luz retrodispersada y/o reflejada. La luz de retorno 1410 puede

pasar a través de una lente 1411 que dirige la luz de retorno 1410 para crear una imagen 1412 del objeto 1408 en el sensor 1404. El sensor 1404 genera señales 1414 basadas en la imagen 1412. La imagen 1412 puede comprender un conjunto de puntos (por ejemplo, representados por los puntos en la imagen 1412 de la Figura 14).

En algunos ejemplos, el iluminador 1402 y el sensor 1404 pueden montarse en una estructura giratoria de modo que el iluminador 1402 y el sensor 1404 capturen una vista de 360A grados de un entorno. En otros ejemplos, el sistema de determinación de rango 1400 puede incluir uno o más componentes ópticos (por ejemplo, espejos, colimadores, rejillas de difracción, etc.) que permiten que el iluminador 1402 y el sensor 1404 detecten rangos de objetos dentro de un rango específico (por ejemplo, hasta 360A grados). Aunque el ejemplo de la Figura 14 solo muestra un único iluminador 1402 y un sensor 1404, el sistema de determinación de rango 1400 puede incluir múltiples conjuntos de iluminadores y sensores.

En algunos ejemplos, el iluminador 1402 genera un patrón de luz estructurado. En tales ejemplos, el sistema de determinación de rango 1400 puede incluir múltiples sensores 1404 sobre los cuales se forman imágenes respectivas del patrón de luz estructurado. El sistema de determinación de rango 1400 puede usar disparidades entre las imágenes del patrón de luz estructurado para determinar

una distancia a un objeto 1408 desde el cual el patrón de luz estructurado se retrodispersa. Los sistemas de determinación de rango basados en luz estructurados pueden tener un alto nivel de precisión (por ejemplo, precisión en el rango submilimétrico), cuando el objeto 1408 está relativamente cerca del sensor 1404 (por ejemplo, de 0,2 metros a 2 metros). Este alto nivel de precisión puede resultar útil en aplicaciones de reconocimiento facial, como el desbloqueo de dispositivos móviles (por ejemplo, teléfonos móviles, tabletas, etc.) y para aplicaciones de seguridad.

En algunos ejemplos, el sistema de determinación de rango 1400 es un sistema basado en tiempo de vuelo (ToF). En algunos ejemplos en los que el sistema de determinación de rango 1400 es un sistema basado en ToF, el iluminador 1402 genera pulsos de luz. En otras palabras, el iluminador 1402 puede modular la amplitud de la luz emitida 1406. En tales ejemplos, el sensor 1404 detecta la luz de retorno 1410 de los pulsos de luz 1406 generados por el iluminador 1402. El sistema de determinación de rango 1400 puede entonces determinar una distancia al objeto 1408 desde el cual la luz 1406 se retrodispersa en función de un retraso entre el momento en que se emitió y detectó la luz 1406 y la velocidad conocida de la luz en el aire). En algunos ejemplos, en lugar (o además) de modular la amplitud de la luz emitida 1406, el iluminador 1402 puede modular la fase de la luz emitida 1406.

En tales ejemplos, el sensor 1404 puede detectar la fase de la luz de retorno 1410 desde el objeto 1408 y determinar distancias a puntos en el objeto 1408 usando la velocidad de la luz y en función de las diferencias de tiempo entre cuando el iluminador 1402 generó la luz 1406 en una fase específica y cuando el sensor 1404 detectó la luz de retorno 1410 en la fase específica.

En otros ejemplos, se puede generar una nube de puntos sin usar el iluminador 1402. Por ejemplo, en algunos ejemplos, los sensores 1404 del sistema de determinación de rango 1400 pueden incluir dos o más cámaras ópticas. En tales ejemplos, el sistema de determinación de rango 1400 puede usar las cámaras ópticas para capturar imágenes estéreo del entorno, incluido el objeto 1408. El sistema de determinación de rango 1400 puede incluir un generador de nubes de puntos 1416 que puede calcular las disparidades entre ubicaciones en las imágenes estéreo. El sistema de determinación de rango 1400 puede entonces usar las disparidades para determinar distancias a las ubicaciones mostradas en las imágenes estéreo. A partir de estas distancias, el generador de nubes de puntos 1416 puede generar una nube de puntos.

Los sensores 1404 también pueden detectar otros atributos del objeto 1408, tales como información de color y reflectancia. En el ejemplo de la Figura 14, un generador de nubes de puntos 1416 puede generar una nube de puntos

en función de las señales 1414 generadas por el sensor 1404. El sistema de determinación de rango 1400 y/o el generador de nubes de puntos 1416 pueden formar parte de la fuente de datos 104 (Figura 1). Por lo tanto, una nube de puntos generada por el sistema de determinación de rango 1400 puede codificarse y/o decodificarse de acuerdo con cualquiera de las técnicas de esta divulgación.

La Figura 15 es un diagrama conceptual que ilustra un escenario basado en vehículo de ejemplo en el que se puede usar una o más técnicas de esta divulgación. En el ejemplo de la Figura 15, un vehículo 1500 incluye un sistema de determinación de rango 1502. El sistema de determinación de rango 1502 se puede implementar de la manera analizada con respecto a la Figura 15. Aunque no se muestra en el ejemplo de la Figura 15, el vehículo 1500 también puede incluir una fuente de datos, tal como la fuente de datos 104 (Figura 1), y un codificador de G-PCC, tal como el codificador de G-PCC 200 (Figura 1). En el ejemplo de la Figura 15, el sistema de determinación de rango 1502 emite rayos láser 1504 que se reflejan en los peatones 1506A u otros objetos en una carretera. La fuente de datos del vehículo 1500 puede generar una nube de puntos en función de las señales generadas por el sistema de determinación de rango 1502. El codificador de G-PCC del vehículo 1500 puede codificar la nube de puntos para generar flujos de bits 1508, tales como un flujo de bits de geometría (Figura 2) y un flujo de bits

de atributos (Figura 2). Los flujos de bits 1508 pueden incluir muchos menos bits que la nube de puntos no codificados obtenida por el codificador de G-PCC. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC del vehículo 1500 puede
5 codificar los flujos de bits 1508 usando interpolación de radio como se describió anteriormente. En algunos ejemplos, el decodificador de G-PCC del vehículo 1510 puede decodificar los flujos de bits 1508 usando interpolación de radio como se describió anteriormente.

10 Una interfaz de salida del vehículo 1500 (por ejemplo, la interfaz de salida 108 (Figura 1) puede transmitir flujos de bits 1508 a uno o más dispositivos diferentes. Los flujos de bits 1508 pueden incluir muchos menos bits que la nube de puntos no codificados obtenida por el codificador de G-
15 PCC. Por tanto, el vehículo 1500 puede ser capaz de transmitir flujos de bits 1508 a otros dispositivos más rápidamente que los datos de nube de puntos no codificados. Además, los flujos de bits 1508 pueden requerir menos capacidad de almacenamiento de datos.

20 En el ejemplo de la Figura 15, el vehículo 1500 puede transmitir flujos de bits 1508 a otro vehículo 1510. El vehículo 1510 puede incluir un decodificador de G-PCC, tal como el decodificador de G-PCC 300 (Figura 1). El decodificador de G-PCC del vehículo 1510 puede decodificar
25 flujos de bits 1508 para reconstruir la nube de puntos. El vehículo 1510 puede usar la nube de puntos reconstruida para

diversos fines. Por ejemplo, el vehículo 1510 puede determinar en función de la nube de puntos reconstruida que los peatones 1506 están en la carretera delante del vehículo 1500 y por lo tanto empezar a reducir la velocidad, por ejemplo, incluso antes de que un conductor del vehículo 1510 se dé cuenta de que los peatones 1206 están en la carretera. Así, en algunos ejemplos, el vehículo 1510 puede realizar una operación de navegación autónoma en función de la nube de puntos reconstruida.

Adicional o alternativamente, el vehículo 1500 puede transmitir flujos de bits 1508 a un sistema servidor 1512. El sistema servidor 1512 puede usar flujos de bits 1508 para diversos fines. Por ejemplo, el sistema servidor 1512 puede almacenar flujos de bits 1508 para la reconstrucción posterior de las nubes de puntos. En este ejemplo, el sistema servidor 1512 puede usar las nubes de puntos junto con otros datos (por ejemplo, datos de telemetría de vehículo generados por el vehículo 1500) para entrenar un sistema de conducción autónomo. En otro ejemplo, el sistema servidor 1512 puede almacenar flujos de bits 1508 para su posterior reconstrucción para investigaciones forenses de choques.

La Figura 16 es un diagrama conceptual que ilustra un sistema de realidad extendida de ejemplo en el que se puede usar una o más técnicas de esta divulgación. La realidad extendida (XR, en inglés) es un término usado para cubrir una gama de tecnologías que incluyen la realidad aumentada

(AR, en inglés), la realidad mixta (MR, en inglés) y la realidad virtual (VR, en inglés). En el ejemplo de la Figura 16, un usuario 1600 está ubicado en una primera ubicación 1602. El usuario 1600 tiene puesto un visor de XR 1604.

5 Como alternativa al visor de XR 1604, el usuario 1600 puede usar un dispositivo móvil (por ejemplo, teléfono móvil, tableta, etc.). El visor de XR 1604 incluye un sensor de detección de profundidad, tal como un sistema de determinación de rango, que detecta posiciones de puntos

10 en objetos 1606 en la ubicación 1602. Una fuente de datos del visor de XR 1604 puede usar las señales generadas por el sensor de detección de profundidad para generar una representación de nube de puntos de los objetos 1606 en la ubicación 1602. El visor de XR 1604 puede incluir un

15 codificador de G-PCC (por ejemplo, el codificador de G-PCC 200 de la Figura 1) configurado para codificar la nube de puntos para generar flujos de bits 1608. En algunos ejemplos, el codificador de G-PCC del visor de XR 1604 puede usar interpolación de radio al codificar la nube de puntos,

20 como se describió anteriormente.

El visor de XR 1604 puede transmitir flujos de bits 1608 (por ejemplo, a través de una red como Internet) a un visor de XR 1610 usado por un usuario 1612 en una segunda ubicación 1614. El visor de XR 1610 puede decodificar flujos de bits

25 1608 para reconstruir la nube de puntos. En algunos ejemplos, el decodificador de G-PCC del visor de XR 1610 puede usar

interpolación de radio al decodificar la nube de puntos, como se describió anteriormente.

El visor de XR 1610 puede usar la nube de puntos para generar una visualización de XR (por ejemplo, una visualización de AR, MR, VR) que representa objetos 1606 en la ubicación 1602. Por lo tanto, en algunos ejemplos, como cuando el visor de XR 1610 genera una visualización de VR, el usuario 1612 puede tener una experiencia inmersiva tridimensional de la ubicación 1602. En algunos ejemplos, el visor de XR 1610 puede determinar una posición de un objeto virtual en función de la nube de puntos reconstruida. Por ejemplo, el visor de XR 1610 puede determinar, en función de la nube de puntos reconstruida, que un entorno (por ejemplo, la ubicación 1602) incluye una superficie plana y luego determinar que un objeto virtual (por ejemplo, un personaje de dibujos animados) se va a colocar en la superficie plana. El visor de XR 1610 puede generar una visualización de XR en la que el objeto virtual está en la posición determinada. Por ejemplo, el visor de XR 1610 puede mostrar al personaje de dibujos animados sentado en la superficie plana.

La Figura 17 es un diagrama conceptual que ilustra un sistema de dispositivo móvil de ejemplo en el que se puede usar una o más técnicas de esta divulgación. En el ejemplo de la Figura 17, un dispositivo móvil 1700, tal como un teléfono móvil o una tableta, incluye un sistema de

determinación de rango, tal como un sistema de LIDAR, que detecta posiciones de puntos en objetos 1702 en un entorno del dispositivo móvil 1700. Una fuente de datos del dispositivo móvil 1700 puede usar las señales generadas por el sensor de detección de profundidad para generar una representación de nube de puntos de los objetos 1702. El dispositivo móvil 1700 puede incluir un codificador de G-PCC (por ejemplo, el codificador de G-PCC 200 de la Figura 1) configurado para codificar la nube de puntos para generar flujos de bits 1704.

En el ejemplo de la Figura 17, el dispositivo móvil 1700 puede transmitir flujos de bits a un dispositivo remoto 1706, tal como un sistema servidor u otro dispositivo móvil. El dispositivo remoto 1706 puede decodificar los flujos de bits 1704 para reconstruir la nube de puntos. En algunos ejemplos, el decodificador de G-PCC del dispositivo remoto 1706 puede usar interpolación de radio al decodificar la nube de puntos, como se describió anteriormente.

El dispositivo remoto 1706 puede usar la nube de puntos para diversos fines. Por ejemplo, el dispositivo remoto 1706 puede usar la nube de puntos para generar un mapa del entorno del dispositivo móvil 1700. Por ejemplo, el dispositivo remoto 1706 puede generar un mapa del interior de un edificio en función de la nube de puntos reconstruida. En otro ejemplo, el dispositivo remoto 1706 puede generar imágenes (por ejemplo, gráficos de computadora) en función de la nube de

puntos. Por ejemplo, el dispositivo remoto 1706 puede usar puntos de la nube de puntos como vértices de polígonos y usar atributos de color de los puntos como base para sombrear los polígonos. En algunos ejemplos, el dispositivo remoto 1706
5 puede usar la nube de puntos reconstruida para reconocimiento facial u otras aplicaciones de seguridad.

Las siguientes cláusulas numeradas pueden ilustrar uno o más aspectos de la divulgación:

Cláusula 1A: un método para procesar una nube de puntos,
10 en donde el método comprende: en respuesta a la determinación de predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpredicción: identificar un cuadro de referencia con compensación cero; derivar un cuadro de referencia con compensación de movimiento; remuestrear selectivamente
15 puntos en el cuadro de referencia con compensación cero en función de uno o más puntos en el cuadro de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia con compensación cero remuestreado; e
interpretar el punto actual en el cuadro actual en función
20 del cuadro de referencia con compensación cero remuestreado.

Cláusula 2A: el método de la cláusula 1A, en donde el cuadro de referencia con compensación cero es ZeroRef y el cuadro de referencia con compensación de movimiento es GlobRef.

25 Cláusula 3A: el método de la cláusula 1A o la cláusula 2A, en donde remuestrear selectivamente los puntos en el

cuadro de referencia con compensación cero comprende:
seleccionar un punto particular en el cuadro de referencia
con compensación cero; determinar si se remuestrea o no el
punto particular; en respuesta a la determinación de
5 remuestrear el punto particular: determinar un primer
conjunto de puntos en el cuadro de referencia con
compensación de movimiento que están asociados con el punto
particular; derivar, en función del primer conjunto de
puntos, un valor de radio derivado; y actualizar, en función
10 del valor de radio derivado, un valor de radio del punto
particular.

Cláusula 4A: el método de la cláusula 3A, en donde
derivar el valor de radio derivado en función del primer
conjunto de puntos comprende: interpolar selectivamente,
15 donde el primer conjunto de puntos incluye una pluralidad de
puntos, el valor de radio derivado en función de la pluralidad
de puntos.

Cláusula 5A: el método de la cláusula 4A, en donde
interpolar selectivamente el valor de radio derivado
20 comprende: determinar no interpolar el valor de radio
derivado cuando una diferencia de valores de radio de la
pluralidad de puntos es mayor que un valor umbral.

Cláusula 6A: el método de la cláusula 4A, en donde
interpolar selectivamente el valor de radio derivado
25 comprende: determinar no interpolar el valor de radio

derivado cuando una diferencia de valores de acimut de la pluralidad de puntos es mayor que un valor umbral.

Cláusula 7A: el método de cualquiera de las cláusulas 4A-6A, que comprende además: abstenerse, en respuesta a la
5 determinación de no interpolar el valor de radio derivado, de actualizar el valor de radio del punto particular en función del valor de radio derivado.

Cláusula 8A: el método de cualquiera de las cláusulas 4A-6A, que comprende además: establecer, en respuesta a la
10 determinación de no interpolar el valor de radio derivado, el valor de radio del punto particular como un valor de radio de un único punto del primer conjunto de puntos.

Cláusula 9A: el método de la cláusula 8A, en donde el único punto del primer conjunto de puntos tiene un valor
15 de acimut más cercano a un valor de acimut del punto particular.

Cláusula 10A: un dispositivo para procesar una nube de datos, cuyo dispositivo comprende uno o más medios para realizar el método de cualquiera de las cláusulas 1A-9A.

20 Cláusula 11A: el dispositivo de la cláusula 10A, en donde el uno o más medios comprenden uno o más procesadores implementados en circuitos.

Cláusula 12A: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 10A u 11A, que comprende además una memoria para
25 almacenar los datos que representan la nube de puntos.

Cláusula 13A: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 10A-12A, en donde el dispositivo comprende un decodificador.

Cláusula 14A: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 10A-13A, en donde el dispositivo comprende un
5 codificador.

Cláusula 15A: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 10A-14A, que comprende además un dispositivo para generar la nube de puntos.

Cláusula 16A: el dispositivo de cualquiera de las
10 cláusulas 10A-15A, que comprende además una pantalla para presentar imágenes basadas en la nube de puntos.

Cláusula 17A: un medio de almacenamiento legible por computadora que tiene almacenadas instrucciones que, cuando son ejecutadas, hacen que uno o más procesadores realicen el
15 método de cualquiera de las cláusulas 1A-9A.

Cláusula 1B: un dispositivo para procesar datos de nube de puntos, cuyo dispositivo comprende: una memoria configurada para almacenar datos de nube de puntos; y uno o más procesadores, implementados en circuitos y
20 configurados para, en respuesta a la determinación de predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpretación: identificar un cuadro de referencia; derivar uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia; remuestrear
25 selectivamente puntos en el cuadro de referencia en función del uno o más puntos de referencia con compensación de

movimiento para generar un cuadro de referencia remuestreado; e interpredecir el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado.

Cláusula 2B: el dispositivo de la cláusula 1B, en
5 donde, para remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia, el uno o más procesadores también están configurados para: seleccionar un punto particular en el cuadro de referencia; determinar si se debe remuestrear o no el punto particular; en respuesta a la
10 determinación de remuestrear el punto particular: determinar un primer conjunto de puntos en el cuadro de referencia que están asociados con el punto particular, en donde el primer conjunto de puntos incluye al menos uno del uno o más puntos de referencia con compensación de
15 movimiento; derivar, en función del primer conjunto de puntos, un valor de radio derivado; y actualizar, en función del valor de radio derivado, un valor de radio del punto particular.

Cláusula 3B: el dispositivo de la cláusula 2B, en
20 donde, para derivar el valor de radio derivado en función del primer conjunto de puntos, el uno o más procesadores también están configurados para: interpolar selectivamente valores de radio para una pluralidad de puntos para determinar el valor de radio derivado, en donde el primer
25 conjunto de puntos incluye la pluralidad de puntos.

Cláusula 4B: el dispositivo de la cláusula 3B, en donde, para interpolar selectivamente los valores de radio para la pluralidad de puntos, el uno o más procesadores también están configurados para: determinar no interpolar
5 valores de radio para un primer punto y un segundo punto de la pluralidad de puntos en respuesta a que uno o ambos de una diferencia de valores de radio del primer punto y el segundo punto es mayor que un primer valor umbral o una diferencia de valores de acimut del primer punto y el
10 segundo punto es mayor que un segundo valor umbral.

Cláusula 5B: el dispositivo de la cláusula 4B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para: abstenerse de actualizar el valor de radio del punto particular en función del valor de radio derivado en
15 respuesta a una determinación de no interpolar los valores de radio para la pluralidad de puntos.

Cláusula 6B: el dispositivo de la cláusula 4B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para: establecer el valor de radio del punto particular como un
20 valor de radio de un único punto del primer conjunto de puntos en respuesta a una determinación de no interpolar los valores de radio para la pluralidad de puntos.

Cláusula 7B: el dispositivo de la cláusula 6B, en donde el único punto del primer conjunto de puntos tiene un valor
25 de acimut más cercano a un valor de acimut del punto particular.

Cláusula 8B: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 1B-7B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para reconstruir una nube de puntos que incluye el punto actual para formar una nube de puntos
5 reconstruida.

Cláusula 9B: el dispositivo de la cláusula 8B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para generar un mapa de un interior de un edificio en función de la nube de puntos reconstruida.

10 Cláusula 10B: el dispositivo de la cláusula 8B o 9B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para realizar una operación de navegación autónoma en función de la nube de datos reconstruida.

15 Cláusula 11B: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 8B-10B, en donde el uno o más procesadores también están configurados para generar gráficos de computadora en función de la nube de puntos reconstruida.

20 Cláusula 12B: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 8B-11B, en donde el uno o más procesadores están configurados para: determinar una posición de un objeto virtual en función de la nube de puntos reconstruida; y generar una visualización de realidad extendida (XR) en la que el objeto virtual se encuentra en la posición determinada.

Cláusula 13B: el dispositivo de cualquiera de las cláusulas 8B-12B, que comprende además una pantalla para presentar imágenes basadas en la nube de puntos reconstruida.

Cláusula 14B: el dispositivo de cualquiera de las
5 cláusulas 1B-13B, en donde el dispositivo comprende uno o más de un teléfono móvil, una tableta, un vehículo o un dispositivo de realidad extendida.

Cláusula 15B: un método para procesar una nube de puntos, en donde el método comprende: en respuesta a la
10 determinación de predecir un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpredicción: identificar un cuadro de referencia; derivar uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia; remuestrear selectivamente puntos en el cuadro de referencia
15 en función del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia remuestreado; e interpredecir el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado.

Cláusula 16B: el método de la cláusula 15B, en donde
20 remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia comprende: seleccionar un punto particular en el cuadro de referencia; determinar si se remuestrea o no el punto particular; en respuesta a la determinación de remuestrear el punto particular: determinar un primer
25 conjunto de puntos en el cuadro de referencia que están asociados con el punto particular, en donde el primer

conjunto de puntos incluye al menos uno del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento; derivar, en función del primer conjunto de puntos, un valor de radio derivado; y actualizar, en función del valor de radio derivado, un valor de radio del punto particular.

Cláusula 17B: el método de la cláusula 16B, en donde derivar el valor de radio derivado en función del primer conjunto de puntos comprende: interpolar selectivamente valores de radio para una pluralidad de puntos para determinar el valor de radio derivado, en donde el primer conjunto de puntos incluye la pluralidad de puntos.

Cláusula 18B: el método de la cláusula 17B, en donde interpolar selectivamente el valor de radio derivado comprende: determinar no interpolar valores de radio para un primer punto y un segundo punto de la pluralidad de puntos en respuesta a que uno o ambos de una diferencia de valores de radio del primer punto y el segundo punto es mayor que un primer valor umbral o una diferencia de valores de acimut del primer punto y el segundo punto es mayor que un segundo valor umbral.

Cláusula 19B: el método de la cláusula 18B, que comprende además: abstenerse de actualizar el valor de radio del punto particular en función del valor de radio derivado en respuesta a la determinación de no interpolar los valores de radio para la pluralidad de puntos.

Cláusula 20B: el método de la cláusula 18B, que comprende además: establecer el valor de radio del punto particular como un valor de radio de un único punto del primer conjunto de puntos en respuesta a la determinación de
5 no interpolar los valores de radio de la pluralidad de puntos.

Cláusula 21B: el método de la cláusula 20B, en donde el único punto del primer conjunto de puntos tiene un valor de acimut más cercano a un valor de acimut del punto particular.

10 Cláusula 22B: el método de cualquiera de las cláusulas 15B-21B, en donde el método para procesar la nube de puntos comprende un método para codificar la nube de puntos.

Cláusula 23B: el método de cualquiera de las cláusulas 15B-21B, en donde el método para procesar la nube de puntos
15 comprende un método para decodificar la nube de puntos.

Cláusula 24B: un medio de almacenamiento legible por computadora que almacena instrucciones que, cuando las ejecuta uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores: en respuesta a la determinación de predecir
20 un punto actual en un cuadro actual usando un modo de interpretación: identifiquen un cuadro de referencia; deriven uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento del cuadro de referencia; remuestreen selectivamente puntos en el cuadro de referencia en función
25 del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento para generar un cuadro de referencia

remuestreado; e interpretan el punto actual en el cuadro actual en función del cuadro de referencia remuestreado.

Cláusula 25B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 24B, en donde, para remuestrear selectivamente los puntos en el cuadro de referencia, las instrucciones hacen que el uno o más procesadores: seleccionen un punto particular en el cuadro de referencia; determinen si se debe remuestrear o no el punto particular; en respuesta a la determinación de remuestrear el punto particular: determinen un primer conjunto de puntos en el cuadro de referencia que están asociados con el punto particular, en donde el primer conjunto de puntos incluye al menos uno del uno o más puntos de referencia con compensación de movimiento; deriven, en función del primer conjunto de puntos, un valor de radio derivado; y actualicen, en función del valor de radio derivado, un valor de radio del punto particular.

Cláusula 26B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 25B, en donde, para derivar el valor de radio derivado en función del primer conjunto de puntos, las instrucciones hacen que el uno o más procesadores: interpolen selectivamente valores de radio para una pluralidad de puntos para determinar el valor de radio derivado, en donde el primer conjunto de puntos incluye la pluralidad de puntos.

Cláusula 27B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 26B, en donde, para interpolar selectivamente el valor de radio derivado, las instrucciones hacen que el uno o más procesadores: determinen no interpolar
5 valores de radio para un primer punto y un segundo punto de la pluralidad de puntos en respuesta a que uno o ambos de una diferencia de valores de radio del primer punto y el segundo punto es mayor que un primer valor umbral o una diferencia de valores de acimut del primer punto y el segundo
10 punto es mayor que un segundo valor umbral.

Cláusula 28B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 27B, en donde las instrucciones también hacen que el uno o más procesadores: se abstengan de actualizar el valor de radio del punto particular en
15 función del valor de radio derivado en respuesta a la determinación de no interpolar los valores de radio para la pluralidad de puntos.

Cláusula 29B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 27B, en donde las instrucciones
20 también hacen que el uno o más procesadores: establezcan el valor de radio del punto particular como un valor de radio de un único punto del primer conjunto de puntos en respuesta a la determinación de no interpolar los valores de radio de la pluralidad de puntos.

25 Cláusula 30B: el medio de almacenamiento legible por computadora de la cláusula 29B, en donde el único punto del

primer conjunto de puntos tiene un valor de acimut más cercano a un valor de acimut del punto particular.

Se debe reconocer que, según el ejemplo, ciertos actos o eventos de cualquiera de las técnicas descritas en la presente pueden realizarse en una secuencia diferente, pueden añadirse, fusionarse o dejarse fuera por completo (por ejemplo, no todos los actos o eventos descritos son necesarios para poner en práctica las técnicas). Además, en ciertos ejemplos, los actos o eventos pueden realizarse simultáneamente, por ejemplo, a través de procesamiento multiproceso, procesamiento de interrupción o múltiples procesadores, en lugar de secuencialmente.

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 o transmitirse como una o más instrucciones o código en un medio legible por computadora y ser ejecutadas por una unidad de procesamiento basada en *hardware*. Los medios legibles por computadora pueden incluir medios de almacenamiento legibles por computadora, que corresponden a un medio tangible, tal como medios de almacenamiento de datos, o medios de comunicación, que incluyen cualquier medio que facilite la transferencia de un programa informático de un lugar a otro, por ejemplo, de acuerdo con un protocolo de comunicación. De esta manera, los medios legibles por computadora generalmente pueden

corresponder a (1) medios de almacenamiento legibles por computadora tangibles que no son transitorios o (2) un medio de comunicación tal como una señal u onda portadora. Los medios de almacenamiento de datos pueden ser cualquier medio disponible al que pueda acceder una o más computadoras o uno o más procesadores para recuperar instrucciones, código y/o estructuras de datos para la implementación de las técnicas descritas en esta divulgación. Un producto de programa informático puede incluir un medio legible por computadora.

A manera de ejemplo no limitativo, dichos medios de almacenamiento legibles por computadora pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, memoria flash, o cualquier otro medio que pueda usarse para almacenar el código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda acceder una computadora. Además, cualquier conexión se denomina adecuadamente medio legible por computadora. Por ejemplo, si las instrucciones se transmiten desde un sitio web, servidor u otra fuente remota usando un cable coaxial, cable de fibra óptica, par trenzado, línea de abonado digital (DSL) o tecnologías inalámbricas tales como infrarroja, radio y microondas, el cable coaxial, cable de fibra óptica, par trenzado, DSL, o tecnologías inalámbricas tales como

infrarroja, radio y microondas están incluidos en la definición de medio. Sin embargo, debe entenderse que los medios de almacenamiento legibles por computadora y los medios de almacenamiento de datos no incluyen conexiones, 5 ondas portadoras, señales u otros medios transitorios, sino que se refieren a medios de almacenamiento tangibles no transitorios. Disco, como se usa en la presente, incluye disco compacto (CD, en inglés), disco láser, disco óptico, disco versátil digital (DVD, en inglés), disquete y disco 10 Blu-ray, donde los discos reproducen datos magnéticamente u ópticamente con láseres. También se deben incluir combinaciones de los anteriores dentro del alcance de los medios legibles por computadora.

Las instrucciones pueden ser ejecutadas por uno o más 15 procesadores, tales como uno o más procesadores de señales digitales (DSP, en inglés), microprocesadores de propósito general, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, en inglés), matrices de puertas programables en campo (FPGA, en inglés) u otros circuitos lógicos 20 integrados o discretos equivalentes. Por consiguiente, los términos “procesador” y “circuito de procesamiento”, como se usan en la presente, pueden referirse a cualquiera de las estructuras anteriores o cualquier otra estructura adecuada para la implementación de las técnicas descritas 25 en la presente. Además, en algunos aspectos, la funcionalidad descrita en la presente puede proporcionarse

dentro de módulos de *hardware* y/o *software* dedicados configurados para codificación y decodificación, o incorporarse en un códec combinado. Además, las técnicas podrían implementarse completamente en uno o más circuitos
5 o elementos lógicos.

Las técnicas de esta divulgación pueden implementarse en una amplia variedad de dispositivos o aparatos, incluido un teléfono inalámbrico, un circuito integrado (IC, en inglés) o un conjunto de IC (por ejemplo, un conjunto de
10 chips). En esta divulgación se describen diversos componentes, módulos o unidades para enfatizar aspectos funcionales de dispositivos configurados para realizar las técnicas divulgadas, pero no necesariamente requieren realización por diferentes unidades de *hardware*. Más bien,
15 como se describió anteriormente, diversas unidades pueden combinarse en una unidad de *hardware* de códec o proporcionarse mediante una colección de unidades de *hardware* interoperativas, incluso uno o más procesadores como se describieron anteriormente, junto con *software* y/o
20 *firmware* adecuados.

Se han descrito diversos ejemplos. Estos y otros ejemplos están dentro del alcance de las siguientes cláusulas.