

Práctica 2

Mapas

métricos

Jordi Blasco Lozano

Razonamiento y representación del conocimiento

Grado en Inteligencia Artificial

Indice:

Indice:	2
1. Objetivo de la práctica	3
2. Consideraciones y datos de entrada	3
3. Métodos implementados	4
Rejilla de Ocupación	4
Oc-Tree	4
4. Lógica común y detalles de implementación	5
Lectura de ficheros PCD	5
Estructura de Almacenamiento de Datos	5
5. Comparación y cálculo de estadísticas	9
6. Parte Optativa: Visualización 3D con PyVista	14

1. Objetivo de la práctica

El objetivo de esta práctica es almacenar y analizar datos métricos en 3D, provenientes de ficheros .pcd (Point Cloud Data), mediante dos estructuras de datos ampliamente usadas en Robótica:

- Rejilla de Ocupación
- Oc-Tree

Ambas estructuras deben:

- Almacenar el número de puntos que caen en cada celda o nodo
- Calcular la media de las coordenadas (x,y,z) de los puntos que caen en dichas regiones

El fin último es comparar cuántas celdas o nodos se generan, cuántos quedan vacíos u ocupados y la media de puntos en las celdas/nodos ocupados, para entender mejor las ventajas y desventajas de cada método.

2. Consideraciones y datos de entrada

Para la realización de la práctica, contamos con varios **ficheros .pcd** que contienen nubes de puntos 3D en un formato ASCII. Cada uno de estos ficheros incluye:

- Una cabecera con información:
 - FIELDS (x y z r g b)
 - TYPE (F F F I I I)
 - WIDTH, HEIGHT y POINTS (indican la cantidad total de puntos)
- Una sección DATA ascii donde se listan los puntos en formato:
“x y z r g b”

en esta practica solo usaremos las tres primeras columnas (x,y,z)

3. Métodos implementados

Rejilla de Ocupación

La Rejilla de Ocupación realiza una discretización regular del espacio.

- Se define un tamaño de celda, por ejemplo `cell_size = 1.0`
- Se calcula un offset con los mínimos (x_{\min} , y_{\min} , z_{\min}) de la nube de puntos
- Para cada punto (x,y,z) , se mapea a índices de celda (ix,iy,iz)
- Se almacena la suma de coordenadas y el conteo total de puntos en cada índice

De esta forma, cada celda tendrá:

- **count**: Número de puntos en la celda
- **mean**: Media de las coordenadas (x,y,z)

Oc-Tree

La estructura Oc-Tree subdivide recursivamente el espacio en 8 octantes siempre que:

- El número de puntos en un nodo supere un umbral `max_points`
- El tamaño del nodo (cubo) sea mayor que un tamaño mínimo de celda (`min_cell_size`)

Cada nodo de tipo `OctreeNode` contiene:

- `min_coord` y `max_coord`, que definen los límites espaciales de su subcubo
- Un listado de puntos (en nodos no subdivididos o durante la construcción)
- `count` y `mean` (definidos para nodos hoja)
- Una lista de 8 hijos (para los octantes), si se subdivide

El criterio para detener la subdivisión (marcar nodo como hoja) es cuando el número de puntos no supera `max_points` o el tamaño de la región es menor o igual a `min_cell_size`.

4. Lógica común y detalles de implementación

Lectura de ficheros PCD

En ambos métodos, el primer paso es leer las coordenadas 3D de los ficheros .pcd de la siguiente forma:

1. Abrir el fichero.
 2. Avanzar línea a línea hasta encontrar DATA ascii.
 3. Leer línea a línea cada punto; parsear únicamente (x,y,z).
 4. Almacenar estos datos en una lista.
-

Estructura de Almacenamiento de Datos

- **Rejilla de Ocupación**

Paso 1: Identificar los rangos

Antes de comenzar a asignar puntos a las celdas de la rejilla, es necesario definir bounding box que contiene todos los puntos de la nube. Esto se hace buscando los valores mínimos y máximos de cada eje (x, y, z):

- (x_{\min} , x_{\max}) Los límites inferior y superior del eje (x).
- (y_{\min} , y_{\max}) Los límites inferior y superior del eje (y).
- (z_{\min} , z_{\max}) Los límites inferior y superior del eje (z).

Esto define el volumen tridimensional en el que trabajará la rejilla

Si por ejemplo tenemos los puntos:

(-5, -7, -3); (4, 2, 6); (-2, -3, 1)

Los límites serían:

$x_{\min} = -5$; $x_{\max} = 4$; $y_{\min} = -7$; $y_{\max} = 2$; $z_{\min} = -3$; $z_{\max} = 6$

Paso 2: Discretizar cada punto

Para asignar cada punto a una celda de la rejilla, necesitamos discretizar sus coordenadas continuas (x, y, z) en índices enteros (i_x, i_y, i_z) que identifican una celda específica y esto se hace con la fórmula:

$$i_x = \left\lfloor \frac{x - x_{\min}}{\text{cell_size}} \right\rfloor, \quad i_y = \left\lfloor \frac{y - y_{\min}}{\text{cell_size}} \right\rfloor, \quad i_z = \left\lfloor \frac{z - z_{\min}}{\text{cell_size}} \right\rfloor$$

- Resta de desplazamiento: ($x - x_{\min}$): Se traslada la coordenada al origen relativo de la rejilla
- División por el tamaño de celda: Divide la distancia al origen relativo entre el tamaño de la celda (cell_size), obteniendo en qué parte de la celda cae el punto
- Truncamiento: Redondea hacia abajo para asignar un índice entero a la celda correspondiente

Ejemplo:

Con un ($\text{cell_size} = 2.0$), ($x_{\min} = -5$), y el punto $(-3, -6, 0)$:

$$\begin{aligned} i_x &= \left\lfloor \frac{-3 - (-5)}{2.0} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2}{2.0} \right\rfloor = \lfloor 1 \rfloor = 1 \\ i_y &= \left\lfloor \frac{-6 - (-7)}{2.0} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1}{2.0} \right\rfloor = \lfloor 0.5 \rfloor = 0 \\ i_z &= \left\lfloor \frac{0 - (-3)}{2.0} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3}{2.0} \right\rfloor = \lfloor 1.5 \rfloor = 1 \end{aligned}$$

El punto se asigna a la celda con índices (i_x, i_y, i_z) = (1, 0, 1)

Paso 3: Acumular datos en la celda

Para cada celda (i_x, i_y, i_z), mantenemos el valor:

count: Número de puntos que caen en la celda

- **Oc-Tree**

Paso 1: Nodo raíz

El Oc-Tree comienza con un nodo raíz que abarca todo el espacio tridimensional definido por:

$\text{min_coord} = [x_{\min}, y_{\min}, z_{\min}]$

$\text{max_coord} = [x_{\max}, y_{\max}, z_{\max}]$

Este nodo contiene inicialmente todos los puntos de la nube.

Paso 2: Subdivisión del nodo

Si el nodo contiene más puntos de los permitidos (max_points) y su tamaño es mayor al mínimo tamaño de celda permitido (min_cell_size), se subdivide en 8 subnodos (octantes).

Cada subnodo corresponde a una subdivisión del espacio en 8 regiones iguales (octantes), definidas por dividir los límites en la mitad:

- El punto medio del nodo para cada uno de los ejes se calcula usando la siguiente fórmula:

- $\text{mid_x} = (x_{\min} + x_{\max}) / 2$

- $\text{mid_y} = (y_{\min} + y_{\max}) / 2$

- $\text{mid_z} = (z_{\min} + z_{\max}) / 2$

- Los octantes tienen los límites:

- **Octante 1:** $[x_{\min}, \text{mid_x}] \times [y_{\min}, \text{mid_y}] \times [z_{\min}, \text{mid_z}]$

- **Octante 2:** Partiendo del Octante 1, vamos cambiando los productos de las multiplicaciones para completar las 8 regiones. Por ejemplo, otro octante podría ser:

$[\text{mid_x}, x_{\max}] \times [y_{\min}, \text{mid_y}] \times [z_{\min}, \text{mid_z}]$

En este caso, hemos tomado la parte del espacio que va de la división del medio hasta el mínimo en los ejes 'y' y 'z', pero del medio al máximo en el eje 'x'. Esto se hace para completar todas las regiones dividiendo cada eje en dos partes. Finalmente, combinando las divisiones de cada eje, se obtienen las 2^3 regiones tridimensionales es decir los 8 octantes.

Paso 3: Asignar puntos a los octantes

Para cada punto del nodo original, verificamos en qué octante cae. Esto se hace comparando las coordenadas del punto con los límites de los octantes.

Ejemplo:

Supongamos que tenemos un punto $p = (x_p, y_p, z_p)$. Lo asignamos a un octante verificando:

- Si $x_{\min} \leq x_p < \text{mid}_x$: Pertenece a la parte izquierda del eje x
- Si $y_{\min} \leq y_p < \text{mid}_y$: Pertenece a la parte inferior del eje y
- Si $z_{\min} \leq z_p < \text{mid}_z$: Pertenece a la parte frontal del eje z

Repitiendo esta lógica, encontramos exactamente en qué octante debe estar el punto

Este proceso es recursivo: cada subnodo puede subdividirse nuevamente en 8 octantes nuevos si cumple las condiciones de subdivisión anteriormente mencionadas, si esto pasara el subnodo entraría al paso 2 nuevamente, en caso contrario pasaría al paso 4

Paso 4: Nodos hoja

Cuando un nodo ya no se puede subdividir por tener menos de `max_points` o alcanzar `min_cell_size`, se convierte en un nodo hoja.

En los nodos hoja:

- Se almacena el número de puntos (count)
- Se calcula la media de las coordenadas de los puntos almacenados (mean)

• Diferencias clave

Característica	Rejilla de Ocupación	Oc-Tree
Resolución	Fija	Adaptativa
Estructura de datos	Matriz o diccionario	Árbol jerárquico
Eficiencia espacial	Consume más espacio para zonas vacías	Más eficiente (menos nodos en zonas vacías)
Complejidad	Simplicidad de implementación	Más compleja (recursión)

5. Comparación y cálculo de estadísticas

En ambos métodos se implementa una función que recorre la estructura y obtiene las siguientes estadísticas

Rejilla:

- `total_celdas`: número de claves del diccionario
- `ocupadas`: cuántas celdas tienen `count > 0`
- `vacias`: celdas que tienen un `count == 0`
- `media_puntos_ocupadas`: la media del `count` en las celdas ocupadas

Oc-tree:

- `total_nodos`: número total de nodos en el árbol
- `hojas`: cantidad de nodos sin hijos (`is_leaf=True`)
- `internas`: cantidad de nodos con hijos (`is_leaf=False`)
- `ocupadas`: hojas con `count > 0`
- `vacias`: hojas con `count == 0`
- `media_puntos_ocupadas`: media del `count` en hojas ocupadas

Debemos de evaluar estos datos usando diferentes valores para los parametros de ***cell_size*** para la rejilla de ocupación y de ***min_cell_octree*** y ***max_points*** para el Oc-Tree. Una vez obtenidos los resultados de todos los archivos .pcd con distintos valores para los parametros podemos obtener las siguientes observaciones y conclusiones.

Resultados

- 1) Con (`cell_size=1.0`, `min_cell_octree=1.0`, `max_points=100`)
- 2) Con (`cell_size=0.5`, `min_cell_octree=0.5`, `max_points=100`)
- 3) Con (`cell_size=3.0`, `min_cell_octree=1.0`, `max_points=300`)

<p>Analizando: ciencias000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 79120</p> <p> Celdas Ocupadas: 2477</p> <p> Celdas Vacias: 76643</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 23.75</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2521</p> <p> Hojas: 2206</p> <p> Nodos Internos: 315</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1223</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 983</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 48.10</p> <p>-----</p> <p>Analizando: ciencias001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 97524</p> <p> Celdas Ocupadas: 2361</p> <p> Celdas Vacias: 95163</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 24.52</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2433</p> <p> Hojas: 2129</p> <p> Nodos Internos: 304</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1128</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1001</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 51.31</p> <p>-----</p> <p>Analizando: scan000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/scan000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 15280056</p> <p> Celdas Ocupadas: 23941</p> <p> Celdas Vacias: 15256115</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 33.72</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 48849</p> <p> Hojas: 42743</p> <p> Nodos Internos: 6106</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 21582</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 21161</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 37.41</p> <p>-----</p> <p>Analizando: museo000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/museo000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 3360</p> <p> Celdas Ocupadas: 338</p> <p> Celdas Vacias: 3022</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 234.17</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2793</p> <p> Hojas: 2444</p> <p> Nodos Internos: 349</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1212</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1232</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 65.29</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 45630</p> <p> Celdas Ocupadas: 1625</p> <p> Celdas Vacias: 44005</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 38.66</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2777</p> <p> Hojas: 2430</p> <p> Nodos Internos: 347</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1437</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 993</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 43.71</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 48960</p> <p> Celdas Ocupadas: 1654</p> <p> Celdas Vacias: 47306</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 37.14</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2473</p> <p> Hojas: 2164</p> <p> Nodos Internos: 309</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1373</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 791</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 44.73</p> <p>-----</p>	<p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 617136</p> <p> Celdas Ocupadas: 6563</p> <p> Celdas Vacias: 610573</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 8.96</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2945</p> <p> Hojas: 2577</p> <p> Nodos Internos: 368</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1413</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1164</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 41.63</p> <p>-----</p> <p>Analizando: ciencias001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 768060</p> <p> Celdas Ocupadas: 6436</p> <p> Celdas Vacias: 761624</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 9.00</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2889</p> <p> Hojas: 2528</p> <p> Nodos Internos: 361</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1365</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1163</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 42.40</p> <p>-----</p> <p>Analizando: scan000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/scan000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 122067792</p> <p> Celdas Ocupadas: 72292</p> <p> Celdas Vacias: 121995500</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 11.17</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 48849</p> <p> Hojas: 42743</p> <p> Nodos Internos: 6106</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 21582</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 21161</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 37.41</p> <p>-----</p> <p>Analizando: museo000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/museo000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 23465</p> <p> Celdas Ocupadas: 1192</p> <p> Celdas Vacias: 22273</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 66.40</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 4033</p> <p> Hojas: 3529</p> <p> Nodos Internos: 504</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1735</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1794</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 45.61</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 351000</p> <p> Celdas Ocupadas: 4898</p> <p> Celdas Vacias: 346102</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 12.83</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 3249</p> <p> Hojas: 2843</p> <p> Nodos Internos: 406</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1684</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1159</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 37.30</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 371680</p> <p> Celdas Ocupadas: 4775</p> <p> Celdas Vacias: 366905</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 12.86</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 2937</p> <p> Hojas: 2570</p> <p> Nodos Internos: 367</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 1560</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 1010</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 39.37</p> <p>-----</p>	<p>Analizando: ciencias000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 3255</p> <p> Celdas Ocupadas: 450</p> <p> Celdas Vacias: 2805</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 130.72</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 929</p> <p> Hojas: 813</p> <p> Nodos Internos: 116</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 435</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 378</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 135.23</p> <p>-----</p> <p>Analizando: ciencias001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/ciencias001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 3780</p> <p> Celdas Ocupadas: 447</p> <p> Celdas Vacias: 3333</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 129.52</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 937</p> <p> Hojas: 820</p> <p> Nodos Internos: 117</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 440</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 380</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 131.55</p> <p>-----</p> <p>Analizando: scan000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/scan000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 568524</p> <p> Celdas Ocupadas: 4262</p> <p> Celdas Vacias: 564262</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 189.43</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 15825</p> <p> Hojas: 13847</p> <p> Nodos Internos: 1978</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 7149</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 6698</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 112.93</p> <p>-----</p> <p>Analizando: museo000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/museo000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 192</p> <p> Celdas Ocupadas: 50</p> <p> Celdas Vacias: 142</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 1582.98</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 1393</p> <p> Hojas: 1219</p> <p> Nodos Internos: 174</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 591</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 628</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 133.90</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli000</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli000.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 1980</p> <p> Celdas Ocupadas: 251</p> <p> Celdas Vacias: 1729</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 250.29</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 1097</p> <p> Hojas: 960</p> <p> Nodos Internos: 137</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 568</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 392</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 110.60</p> <p>-----</p> <p>Analizando: poli001</p> <p>Analisis Comparativo</p> <p>-----</p> <p>Archivo: ./Datos/poli001.pcd</p> <p>Rejilla de Ocupacion:</p> <p> Total de Celdas: 1836</p> <p> Celdas Ocupadas: 232</p> <p> Celdas Vacias: 1604</p> <p> Media de puntos en celdas ocupadas: 264.78</p> <p>Oc-Tree:</p> <p> Total de Nodos: 945</p> <p> Hojas: 827</p> <p> Nodos Internos: 118</p> <p> Celdas (Hojas) Ocupadas: 561</p> <p> Celdas (Hojas) Vacias: 266</p> <p> Media de puntos en hojas ocupadas: 109.48</p> <p>-----</p>
--	--	--

Observaciones

A partir de los resultados obtenidos con las configuraciones de parámetros:

1) (**cell_size=1.0, min_cell_octree=1.0, max_points=100**):

Regilla de Ocupación

- Los archivos analizados muestran un número total de celdas que oscila, por ejemplo, entre 3360 (museo000) y 15 280 056 (scan000)
- En la mayoría de los casos, las celdas vacías superan el 90% del total (por ejemplo, en ciencias000, 76 643 de 79 120 celdas están vacías $\approx 97\%$; en scan000, 15 256 115 de 15 280 056 $\approx 99\%$)
- Esto sucede porque el espacio se divide uniformemente, pero solo una pequeña fracción de las celdas contiene puntos
- La media de puntos por celda ocupada varía bastante según el archivo (desde cerca de 23–24 en ciencias000 y ciencias001, hasta 234 en museo000), lo que indica que algunas regiones concentran muchos puntos

Oc-Tree

- El número total de nodos abarca desde valores relativamente pequeños (2473 en poli001) hasta decenas de miles (48849 en scan000)
- La proporción de hojas ocupadas frente a hojas totales está en torno al 50–60% en varios casos (por ejemplo, en ciencias000 hay 1223 hojas ocupadas de 2206 $\approx 55\%$)
- La media de puntos en las hojas ocupadas (48.10 en ciencias000, 65.29 en museo000) suele ser superior a la de la rejilla, lo que indica una agrupación más eficiente de puntos en los nodos

En resumen, con estas configuraciones (celda = 1.0), la rejilla genera muchas celdas vacías, mientras que el Oc-Tree logra una ocupación más concentrada en las regiones de interés.

2) (cell_size=0.5, min_cell_octree=0.5, max_points=100):**Regilla de Ocupación**

- Reducir el tamaño de las celdas de la rejilla incrementa drásticamente el número total de celdas (hasta 617 136). Aunque esto mejora la resolución de la rejilla, también aumenta el número de celdas vacías
- Consecuentemente, también aumenta el número (y el porcentaje) de celdas vacías hasta un 98%
- A pesar de tener mejor resolución, esto implica almacenar más celdas sin datos

Oc-Tree

- Se incrementa el número total de nodos y hojas con respecto a la configuración anterior, porque ahora el árbol se subdivide más para ajustarse al tamaño de celda más pequeño
- Sin embargo, sigue siendo mucho más compacto que la rejilla: las hojas vacías son menos de la mitad en muchos casos, y la media de puntos en hojas ocupadas (entre 37 y 51 en los distintos archivos)

Con un cell_size de 0.5 se incrementa exponencialmente las celdas vacías en la rejilla, mientras que el Oc-Tree continúa mostrando ventajas en la distribución de nodos.

3) (cell_size=3.0, min_cell_octree=1.0, max_points=300):**Regilla de Ocupación**

- Aumentar el tamaño de la celda a 3.0 reduce drásticamente el número total de celdas, a su vez se reduce también el porcentaje de celdas vacías hasta un 86%
- La media de puntos en las celdas ocupadas aumenta ya que las celdas abarcan más volumen y consiguen retener más puntos

Oc-Tree

- Se ve un descenso en el número total de nodos y de hojas en comparación con configuraciones más finas, ya que se realizan menos subdivisiones
- La media de puntos por hoja ocupada aumenta notablemente reflejando que cada hoja cubre un volumen mayor con más puntos acumulados

Esta configuración de celdas grandes reduce drásticamente la cantidad de nodos totales tanto en la rejilla como en el Oc-Tree, a costa de menor precisión. Aun así, el Oc-Tree continúa beneficiándose de una subdivisión adaptativa en las regiones más densas.

Comparación General

Rejilla de Ocupación

- Es simple de implementar y adecuada para entornos donde se requiere una división uniforme del espacio.
- Sufre de ineficiencia en regiones con muchos puntos vacíos, especialmente con tamaños de celda pequeños.
- Aumentar el tamaño de celda mejora la eficiencia, pero reduce la resolución espacial.

Oc-Tree

- Es más eficiente para representar datos en 3D, adaptándose a las regiones densas y dejando sin dividir las áreas vacías.
- Produce menos nodos totales en comparación con las celdas de la rejilla.
- Permite un balance entre resolución y eficiencia al ajustar los parámetros `min_cell_octree` y `max_points`.

Conclusión Final

El Oc-Tree es claramente superior a la rejilla de ocupación en términos de eficiencia y adaptabilidad para datos tridimensionales dispersos. Mientras que la rejilla de ocupación es útil para representaciones uniformes, el Oc-Tree ofrece una solución más compacta y ajustada a la distribución de puntos, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones que requieren almacenamiento eficiente y resolución dinámica.

6. Parte Optativa: Visualización 3D con PyVista

Consiste en la visualización 3D de los datos y la estructura del Oc-Tree , utilizando la librería PyVista. El visualizador permite observar tanto los puntos originales de la nube como las celdas generadas por el Oc-Tree.

Implementación:

- Se utiliza la librería PyVista para renderizar la nube.
- Cada fichero .pcd se lee completamente y se construye un objeto PolyData que contiene todos los puntos.
- Se crea un plot con el objeto, permite rotar, hacer zoom y desplazarse por el espacio 3D
- En la clase Oc-tree se ha implementado un metodo que consiste en guardar una lista de todos los nodos que genera el Oc-Tree subdividiendose, para exportarlos y representarlos en formato de cubos en el plot junto a los puntos de los archivos .pcd correspondiente

