

Optimización del Almacenamiento para un Sistema de Visualización Científico Inmersivo Colaborativo de Objetos 3D

Perez-Monte, C. F.¹[0000-0003-4407-7811], Piccoli, F.^{3,5}[0000-0002-3636-7360] Luciano, C. J.²[0000-0001-6521-5182] Vargas, G.⁷[0009-0008-7109-1356], Cremaschi, F.⁴[0000-0002-1922-3664], Abraham, J.⁶[0009-0000-6843-2203], Canton, M. L.¹[0000-0002-5643-5375], and Chiavazza, H.^{8,9}[0000-0003-1632-8388]

¹ Gridtics - FRM - UTN - Mendoza cristian.perez@gridtics.frm.utn.edu.ar

² Department of Biomedical Engineering - UIC - Chicago - USA clucia1@uic.edu

³ LIDIC - Universidad Nacional de San Luis - San Luis mfpiccoli@gmail.com

⁴ Área de Neurología Clínica y Quirúrgica - Departamento de Neurociencias - FCM - UNCuyo - Mendoza fabiancremaschi@fcm.uncu.edu.ar

⁵ Universidad Autónoma de Entre Ríos - Concepción del Uruguay - Entre Ríos

⁶ Departamento de Electrónica - FRM - UTN - Mendoza jabraham@frm.utn.edu.ar

⁷ MCNL - LAE - UNCuyo -Mendoza gvargas@laevirtual.uncu.edu.ar

⁸ Instituto de Arqueología y Etnología - UNCuyo - Mendoza

⁹ Patrimonio Cultural y Museos, Gobierno de Mendoza hchiavazza@mendoza.gov.ar

Abstract. Este trabajo presenta un sistema de almacenamiento, administración y visualización inmersiva foto-realista de escenas volumétricas para uso científico interdisciplinario aplicado específicamente al ámbito médico-académico y museología. Mediante la utilización de realidad virtual, se presenta un ambiente de trabajo colaborativo que permite la visualización y el análisis de objetos 3D almacenados en dos diferentes formatos. Los objetos con información interior y exterior se representan con volúmenes compuestos por vóxeles mientras que los objetos con sólo información de superficie se representan con mallas de hilos con texturas. Para obtener volúmenes se utiliza equipamiento específico de adquisición como tomógrafos o resonadores magnéticos mientras que para mallas de hilos se utilizan escáneres, métodos fotogramétricos y más recientemente mediante tecnologías de reconstrucción 3D basadas en Inteligencia Artificial denominadas Campos de Radiación Neuronal (NeRF) que muestran ventajas en los resultados visuales obtenidos. Los objetos adquiridos en cualquiera de los dos formatos requieren un espacio de almacenamiento elevado, lo que representa un problema a resolver. En este trabajo proponemos, para nuestro sistema, la utilización de NeRF no sólo como tecnología de reconstrucción sino también como método para el almacenamiento más eficiente, aunque es necesario realizar una conversión en tiempo real a malla de hilos para su visualización.

Keywords: NeRF · Realidad Virtual · Inteligencia Artificial · Volumen · 3D.

1 Introducción y Trabajos Relacionados

Un modelo 3D es una representación de un objeto real, el cual puede ser descrito en dos formatos diferentes de acuerdo al tipo de información que se tenga del mismo. Cuando queremos representar la información tanto de su interior como de su superficie se utiliza como formato un volumen compuesto de voxels. En la medicina moderna los modelos 3D son almacenados en este formato y se obtienen a través de la tomografía computada (CT) o imágenes por resonancia magnética (MRI). Cuando se desea representar solo la superficie exterior de un objeto se usa para almacenarlo el formato mallas de hilos con texturas. Para este caso, los objetos 3D se pueden obtener por métodos con contacto y sin contacto. En aplicaciones como museología, los métodos con contacto no son aconsejables a fin de preservar la integridad de los objetos físicos a digitalizar. Dentro de los métodos sin contacto, el sensor no toca la superficie a escanear, se los clasifica en dos categorías [6]: activos y pasivos. Para el primer caso, existen varios tipos de escáneres, entre los más importantes se encuentran: Tiempo de vuelo [13], Triangulación [8] y Luz estructurada [9]. En cuanto a los que utilizan métodos pasivos, se puede destacar la fotogrametría [1] para determinar la superficie del objeto mediante la utilización de un conjunto de fotografías tomadas alrededor del mismo. Utilizando estos métodos, más recientemente se han comenzado a utilizar tecnologías de reconstrucción de las superficies basadas en inteligencia artificial denominadas Neural Radiance Field (NeRF) [15] [11] [17]. Los NeRF permiten obtener modelos 3D de superficie [18] con resultados visuales muy buenos.

NeRF es una red neuronal completamente conectada. la cual puede generar vistas nuevas de escenas 3D complejas, basándose en un conjunto parcial de imágenes 2D. Una red NeRF se entrena para mapear directamente desde la dirección de visualización y la ubicación espacial (entrada 5D: los 2 ángulos de la dirección de visualización y los 3 ejes de la ubicación espacial) hasta la opacidad y el color (salida 4D: opacidad y rojo, verde y azul del color), utilizando renderizado volumétrico para generar nuevas vistas desde direcciones de visualización diferentes de las utilizadas para su entrenamiento. La ventaja de NeRF es que puede captar los elementos de una escena de forma volumétrica. Esto significa que, a diferencia de la fotogrametría, es capaz de representar correctamente objetos transparentes o metálicos con reflejos.

Los modelos 3D, especialmente los volúmenes, poseen un tamaño considerable lo que dificulta tanto su procesamiento como su almacenamiento. Dicha problemática ha sido ampliamente estudiada [2]. Por

otro lado las mallas de hilos, en el caso de ser ultra densas para permitir grandes detalles de su geometría o de poseer texturas de alta resolución también pueden tener un tamaño considerable, sin embargo es una problemática menos estudiada que la anterior. Este trabajo aborda esta problemática en particular en la sección 4 de un sistema anteriormente descrito en la sección 2 utilizando la técnica de reconstrucción de modelos 3D NeRF, descrita en la sección 3.

2 Sistema de Visualización Científico Inmersivo

Este trabajo forma parte del desarrollo de un sistema de almacenamiento, administración y visualización inmersiva de ambos tipos de formatos de modelos 3D para uso científico: volúmenes y mallas de hilos.

Si bien el uso de volúmenes es más utilizado en medicina y el de malla de hilos con texturas es más común en museología, el empleo de mallas de hilos en medicina permite darle un mayor realismo a los modelos utilizados para simulaciones como en entrenamiento pre-quirúrgico [24, 12, 14, 5, 16] mientras que usar volúmenes en museología también es frecuente [4, 21].

Previo a la administración y visualización, el almacenamiento de los modelos 3D reviste especial importancia por tener realizarse con redundancia, seguridad y accesibilidad para el resguardo y acceso de los datos científicos guardados. Especialmente para el caso de datos museológicos, el almacenado digital de datos volumétricos o de superficie de valiosas piezas es sumamente importante para:

- Resguardar y preservar la información de dichas piezas para la posteridad: Las piezas originales no están exentas de su degradación natural y posible destrucción por algún incidente fortuito, improbable pero no imposible.
- Acceso y Manipulación Sin Límites: El acceso y manipulación virtual por parte de científicos en cualquier lugar del mundo es posible con simple autorización y sin consecuencias para los objetos reales, los cuales podrían degradarse o destruirse por la manipulación física.

Los modelos 3D, tanto volumétricos como de superficie poseen un tamaño considerable para representar con calidad el objeto físico a representar. Además en nuestro sistema, para el caso de museología, la obtención y reconstrucción de los modelos 3D se realiza a partir de los objetos físicos utilizando un conjunto de fotografías alrededor del mismo, las cuales mediante NeRF se obtiene la malla de hilos y su respectiva textura. Si bien

los resultados obtenidos por los escáneres con métodos activos antes citados pueden dar mejores respecto a la precisión de la malla, existen tres razones por las que hemos elegido esta opción:

- Mayor velocidad de Adquisición de la digitalización de los objetos físicos.
- Menor tiempo de entrenamiento del personal del museo para adquirir los objetos.
- Altos costos de los equipamientos específicos como los escáneres 3D.

Además de las ventajas antes citadas, se propone la utilización de NeRF como método para permitir el almacenado más eficiente de los modelos de superficie.

La administración del sistema incluye su manipulación y procesamiento para su estudio (en cualquier caso conservando el objeto digital original) y el procesamiento previo a la visualización como es el caso del renderizado.

Para la renderización y visualización, actualmente se dispone de motores de visualización 3D como son Unreal Engine V y Unity [23]. El primero de ellos es el elegido por ser el más utilizado para aplicaciones médico-académicas [7] y para museología [20] por ser el más aplicado actualmente tanto en la industria de los videojuegos como al uso científico para realidad virtual por su versatilidad y calidad visual. Mediante el mismo es posible el acceso al sistema para la visualización y manipulación de los modelos por múltiples usuarios simultáneamente [19], utilizando ya sea dispositivos móviles o dispositivos de realidad virtual para una experiencia inmersiva. La visualización foto realista de mallas de hilos ultra densas es también posible gracias a este motor gráfico. El trazado de rayos por hardware [3] que permite la experiencia foto realista es posible gracias a la tecnología lumen [22] mientras que el uso de modelos de mallas de hilos ultra densas es posible gracias a la tecnología nanite [10], ambas tecnologías de Unreal Engine V. En la figura 1 se observan los 4 modelos 3D usados en este trabajo visualizados en tiempo real con nuestro sistema.

3 NeRF: Sistema de Digitalización de Modelos 3D de Superficie

Cada objeto a digitalizar solo requiere la filmación de un corto vídeo alrededor del mismo con iluminación apropiada y con un recorrido que pueda revelar toda o la mayor parte de la estructura de superficie. El mismo puede realizarse con celulares de gama media y resolución de filmación de 1080p o 2160p. Luego, se produce la extracción de fotogramas

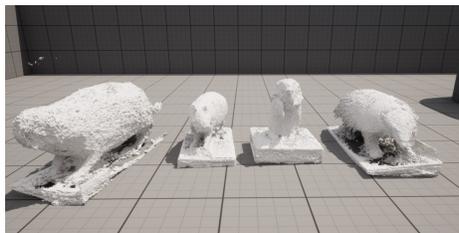


Fig. 1. Ejemplo de visualización de mallas ultra densas con Unreal Engine V.

representativos eliminando los que puedan resultar borrosos por transitorios en el movimiento. Se realiza el proceso de determinación de la posición de la cámara en cada fotograma. El mismo se realiza con el software *coldmap*. Con los fotogramas y las posiciones de la cámara de cada uno de ellos, se realiza el entrenamiento en la creación de la estructura NeRF. Finalmente se produce la extracción de la malla de hilos y su respectiva textura para la obtención de la malla de hilos a ser renderizada y visualizada por el motor 3D. Los últimos dos procesos se realizan mediante *instant-ngp*.

En la Figura 2(a) se observa el Modelo 1, un fotograma utilizado para el entrenamiento del archivo NeRF (N^o758). Luego en la Figura 2(b) se muestra el objeto 3D visualizado desde una nueva perspectiva en formato NeRF. La Figura 2(c) muestra el modelo en malla de hilos sin textura y finalmente, en la Figura 2(d), el modelo en malla de hilos con textura es detallado.

4 Optimización del Almacenamiento de Modelos 3D

La reducción del espacio ocupado por los modelos 3D permite, para un mismo hardware utilizado para su almacenamiento, una mayor redundancia, seguridad en el almacenamiento de datos y cantidad de objetos almacenados. Es por ello que en el presente trabajo, presentamos una propuesta de almacenamiento de los datos diferente a la clásica utilización del almacenamiento de volúmenes o mallas de hilos con sus respectivas texturas.

Si bien es requisito la extracción de la malla de hilos de la estructura NeRF para su visualización, como la misma contiene toda la información necesaria para reconstruir la textura y además dispone de información volumétrica, en este trabajo se propone que el almacenamiento del modelo 3D sea en el formato NeRF, el cual contiene toda la información de la

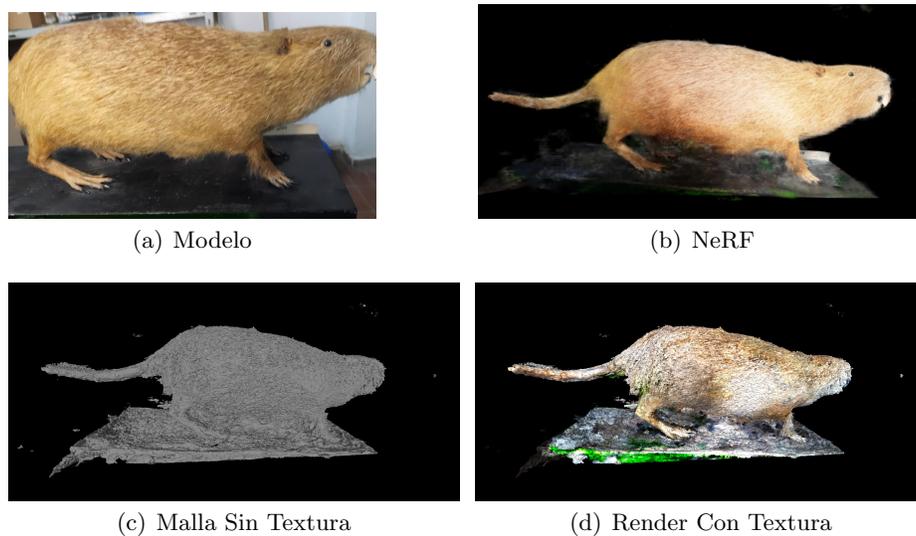


Fig. 2. Procesamiento de un Objeto a Imagen Digital

malla de hilos, y no en la malla de hilos superdensa final utilizada para la visualización.

5 Resultados Experimentales

Para analizar nuestra propuesta, hemos comparado el espacio ocupado por la representación NeRF con respecto a mallas de hilos. Para ello trabajamos con modelos 3D de 4 especímenes del Museo Lorca ubicando en la provincia de Mendoza, obtenidos según el procedimiento indicado en la sección 3. En la tabla [25] se describe cada uno de ellos.

Table 1. Descripción de los especímenes

Modelo	Nombre científico	Nombre común	Taxidermia
Modelo 1	<i>Myocastor coipus</i>	Coipo o quiyá (Nutria)	José Lorca (1941)
Modelo 2	<i>Chlamyphorus truncatus</i>	Pichiciego	S/D- Donación (1943)
Modelo 3	<i>Microcavia australis</i>	Cuis o conejito del cerco	S/D- Donación (1943)
Modelo 4	<i>Chaetopharctus villosus</i>	Peludo	José Lorca (1941)

En todos los modelos, la curadora es Gabriela Vargas.

Se realizó un video para cada uno de los especímenes en 1080p y 30 fps de los cuales se extrajo la cantidad de fotogramas indicados en la tabla 2.

A partir de la configuración de grilla mostrados en dicha tabla, se obtuvo una malla de hilos ultra densa con cantidad de vértices y caras para cada uno de los modelos también detallados.

Table 2. Características de los modelos utilizados

Modelo	Cant. de fotogramas	Configuración de grilla	Cant. de vértices	Cant. de caras
Modelo 1	850	1024x448x480	7.555.840	15.037.726
Modelo 2	775	720x688x768	6.492.800	12.933.406
Modelo 3	629	768x528x512	5.764.864	11.469.469
Modelo 4	867	1024x468x480	9.173.248	18.238.528

Dada la relativa baja entropía de la información del objeto 3D (.obj) de la malla de hilos con respecto al archivo de Primitivas gráficas neuronales instantáneas (.ingp) de NeRF, para una comparación justa se muestran los resultados con y sin compresión tanto para el archivo .ingp como para el de mallas de hilos .obj. Para la compresión se utilizó el software 7zip con las siguiente configuración: Compresión ultra LZMA2 con diccionario de 1536Mb. La elección del algoritmo y configuración de la compresión fue en base a considerarse entre las que mejores resultados dan en términos de relación de compresión y velocidad de descompresión.

En la tabla 3 podemos observar los resultados obtenidos expresados bytes:

Table 3. Resultados obtenidos

Modelo	Tamaño ingp sin comprimir	Tamaño obj sin comprimir	Tamaño ingp comprimido	Tamaño obj comprimido	Relación obj/ingp comprimidos
Modelo 1	47.679.863	1.340.067.979	34.880.738	207.575.766	5,95
Modelo 2	47.627.058	1.153.805.826	34.149.313	173.809.646	5,09
Modelo 3	47.524.266	1.023.143.490	33.804.916	154.993.701	4,58
Modelo 4	47.691.833	1.631.272.626	34.876.202	249.161.284	7,14

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar la conveniencia del almacenamiento de los objetos 3D en formato NeRF con respecto al formato de malla de hilos, incluso si este último fuera comprimido con LZMA2, realizando la conversión al formato de malla de hilos superdensa en el momento de la visualización del modelo. Se logró una reducción de 5 a 1 del almacenamiento en la mayoría de los casos.

6 Conclusiones y Trabajos Futuros

En este trabajo se realizó una comparación del espacio almacenado por mallas de hilos obtenidas con NeRF con respecto al espacio almacenado por el formato NeRF. De los resultados obtenidos por dicha comparación se concluye la conveniencia de almacenar los objetos 3D en formato NeRF y no en formato de malla de hilos, realizando la extracción de la malla de hilos en el momento de la visualización.

Si bien no se realizó un análisis del tiempo de descompresión del archivo de malla de hilos obj comprimido con respecto al tiempo de obtención de la malla de hilos desde el archivo ingp, ambos son del mismo orden de magnitud, siendo el primero de ellos aproximadamente la mitad, y deben ser considerados en aplicaciones en tiempo real.

Finalmente es importante resaltar que el almacenamiento de los datos de superficie en formato .ingp en vez de malla de hilos permite no solo almacenar los datos de superficie sino también datos volumétricos en el caso de que el objeto físico contenga superficies semitransparentes o transparentes que permitan revelar información interior. En el futuro se propone la utilización de NeRF como método para reducir el espacio de almacenamiento de volúmenes además de mallas de hilos.

7 Agradecimientos

Se agradece especialmente el acceso a objetos físicos para su digitalización que pertenecen al Museo de Ciencias Naturales José Lorca de Liceo Agrícola y Enológico de Universidad Nacional de Cuyo. Este proyecto ha sido posible gracias al aporte de recursos humanos brindados por LVP-Gridtics perteneciente a Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza (UTN-FRM), Universidad Nacional de San Luis (UNSL) y University of Illinois at Chicago (UIC). Los trabajos actuales están siendo desarrollados parcialmente gracias al aporte económico de UTN por fondos del proyecto de investigación y desarrollo CCUTIME0007776TC "Visualización inmersiva de volúmenes: Adquisición, Almacenamiento y Procesamiento para uso científico."

Referencias

1. Baltsavias, E.P.: A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **54**(2), 83–94 (1999). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271699000143>

2. Beyer, J., Hadwiger, M., Pfister, H.: State-of-the-art in gpu-based large-scale volume visualization. *Computer Graphics Forum* **34** (2015)
3. Burgess, J.: Rtx on—the nvidia turing gpu. *IEEE Micro* **40**(2), 36–44 (2020). <https://doi.org/10.1109/MM.2020.2971677>
4. Cesarani, F., Martina, M.C., Ferraris, A., Grilletto, R., Boano, R., Marochetti, E.F., Donadoni, A.M., Gandini, G.: Whole-body three-dimensional multidetector ct of 13 egyptian human mummies. *American Journal of Roentgenology* **180**(3), 597–606 (2003)
5. Chytas, D., Salmas, M., Noussios, G., Demesticha, T., Skandalakis, G.P., Paraskevas, G.: Immersive 3-dimensional virtual reality modeling for case-specific presurgical discussions in cerebrovascular neurosurgery. *Operative Neurosurgery* **20**(6), E458–E459 (2021)
6. Curless, B.: From range scans to 3d models. *SIGGRAPH Comput. Graph.* **33**(4), 38–41 (nov 1999). <https://doi.org/10.1145/345370.345399>, <https://doi.org/10.1145/345370.345399>
7. El-Wajeh, Y.A., Hatton, P.V., Lee, N.J.: Unreal engine 5 and immersive surgical training: translating advances in gaming technology into extended-reality surgical simulation training programmes. *British Journal of Surgery* **109**(5), 470–471 (2022)
8. França, J.G.D., Gazziro, M.A., Ide, A.N., Saito, J.H.: A 3d scanning system based on laser triangulation and variable field of view. In: *IEEE International Conference on Image Processing 2005*. vol. 1, pp. 1–425. IEEE (2005)
9. Furt, B.: *Encyclopedia of multimedia*. Springer Science & Business Media (2008)
10. Games, E.: Nanite virtualized geometry, <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine/>
11. Gao, K., Gao, Y., He, H., Lu, D., Xu, L., Li, J.: Nerf: Neural radiance field in 3d vision, a comprehensive review. *arXiv preprint arXiv:2210.00379* (2022)
12. Higginbotham, G.: Virtual connections: improving global neurosurgery through immersive technologies. *Frontiers in Surgery* **8**, 629963 (2021)
13. Horaud, R., Hansard, M., Evangelidis, G., Ménier, C.: An overview of depth cameras and range scanners based on time-of-flight technologies. *Machine vision and applications* **27**(7), 1005–1020 (2016)
14. Liu, Y.: Virtual neurosurgical education for image-guided deep brain stimulation neurosurgery. In: *2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing*. pp. 623–626. IEEE (2014)
15. Mildenhall, B., Srinivasan, P.P., Tancik, M., Barron, J.T., Ramamoorthi, R., Ng, R.: Nerf: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. *Communications of the ACM* **65**(1), 99–106 (2021)
16. Mishra, R., Narayanan, M.K., Umana, G.E., Montemurro, N., Chaurasia, B., Deora, H.: Virtual reality in neurosurgery: beyond neurosurgical planning. *International journal of environmental research and public health* **19**(3), 1719 (2022)
17. Müller, T., Evans, A., Schied, C., Keller, A.: Instant neural graphics primitives with a multiresolution hash encoding. *ACM Trans. Graph.* **41**(4), 102:1–102:15 (Jul 2022). <https://doi.org/10.1145/3528223.3530127>, <https://doi.org/10.1145/3528223.3530127>
18. Munkberg, J., Hasselgren, J., Shen, T., Gao, J., Chen, W., Evans, A., Müller, T., Fidler, S.: Extracting triangular 3d models, materials, and lighting from images. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. pp. 8280–8290 (2022)
19. Pennanen, R.: Virtual reality multiplayer in unreal engine 5 with c++ (2022)

20. Qian, X.: A Virtual Museum of Architecture: Creating an Alternative Visitor Experience. Ph.D. thesis, Duke Univ. (2022)
21. Re, A., Lo Giudice, A., Nervo, M., Buscaglia, P., Luciani, P., Borla, M., Greco, C., et al.: The importance of tomography studying wooden artefacts: A comparison with radiography in the case of a coffin lid from ancient egypt. *International Journal of Conservation Science* **7**(Specialissue2), 935–944 (2016)
22. Skorobogatova, A.: Real-time global illumination in unreal engine 5 (2022)
23. Šmíd, A.: Comparison of unity and unreal engine. *Czech Technical Univ. in Prague* pp. 41–61 (2017)
24. Tomlinson, S.B., Hendricks, B.K., Cohen-Gadol, A.: Immersive three-dimensional modeling and virtual reality for enhanced visualization of operative neurosurgical anatomy. *World Neurosurgery* **131**, 313–320 (2019)
25. Vargas, G.: Guía de Estudio de la Colección. Museo de Ciencias Naturales José Lorca. Liceo Agrícola y Enológico D.F.S. UNCU. Mendoza (2014)