

# REMALLADO EN PARALELO BASADO EN CRITERIOS MÚLTIPLES

María V. Cifuentes<sup>a,b</sup>, Juan P. D'Amato<sup>a,c</sup>, Pablo Lotito<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>PLADEMA, Universidad Nacional del Centro, 7000 Tandil, Argentina,  
([@exa.unicen.edu.ar](mailto:cifuentes,jpdamato))

<sup>b</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

<sup>c</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas

**Palabras Clave:** Computación gráfica, Remallado, Paralelización.

**Resumen.** *Las mallas de superficie generadas a partir de triangulaciones arbitrarias cultivan el interés en investigaciones de Computación Gráfica. Mientras que las aplicaciones de Realidad Virtual requieren mallas con mínima cantidad de elementos y buena apariencia, los modelados numéricos utilizan mallas con elementos de buena calidad y precisión respecto a la malla de referencia. Por consiguiente, es necesario disponer de un proceso robusto y adaptable para la generación de mallas acordes a una dada métrica. Conjuntamente, el uso de estrategias en paralelo permite reducir los tiempos de cálculo, en especial aplicado a mallas de cientos de miles de triángulos. Este trabajo presenta una línea de investigación que propone un proceso general de generación de mallas a partir de la combinación de criterios y utilizando hardware paralelo, entre ellos GPU, como unidad de cálculo.*

## INTRODUCCIÓN

La generación de mallas de calidad es aún un desafío del modelado geométrico y un requisito de las simulaciones en ingeniería. Las mallas usadas para este fin requieren elementos de un tamaño dado en una sección del espacio y una calidad mínima. En aplicaciones interactivas, como un navegador de escenarios, es deseable reducir la cantidad de elementos que definen un modelo pero preservando las características del mismo. En muchas simulaciones, por ejemplo del fluido a través de una arteria coronaria, se requiere que las mallas utilizadas cumplan las condiciones de contorno impuestas por el usuario. Estas condiciones de volumen aseguran una mayor estabilidad del modelo.

Uno de los métodos más aceptados para lograr mallas de buena calidad es el de remallado, el cual a partir de triangulaciones generalmente generadas mediante herramientas CADs, las que muchas veces incluyen elementos imperfectos o de superficie nula, logran otras de calidad aceptable. Este procesamiento, generalmente iterativo, consiste en realizar cambios por elemento, ya sea añadiendo o quitando vértices e intercambiando aristas, para mejorar la calidad y obtener un tamaño de elemento dado. Coupez fue uno de los primeros en utilizar esta estrategia [1], quien propuso cambios restringidos en la topología de la malla, mientras que Juárez y otros presentan un nuevo

método de subdivisión para obtener triángulos de mejor calidad [2]. Este tipo de cambio modifica la estructura de la malla. Otras estrategias aplicables, son procesamiento de los elementos, que no modifiquen la relación entre ellos. El filtro más aplicado es un suavizado Laplaciano con el que se logra eficazmente mejorar la calidad de los triángulos aunque se contrae considerablemente el volumen del dominio [3]. Por esto, la preservación de volumen ha sido objeto de estudio de muchos trabajos en los últimos años [4].

Nuestro estudio se basa en un método de remallado iterativo, similar a [5,6] que procura conseguir elementos de calidad razonable definiendo la superficie con elementos de un tamaño deseado, que conservan una mínima diferencia de volumen, mediante detección de singularidades y proyección de los vértices. Básicamente, en esta propuesta de investigación se intenta explotar, en los casos posible, el uso de las GPUs migrando parte del procesamiento a t y así reducir los tiempos de cálculo.

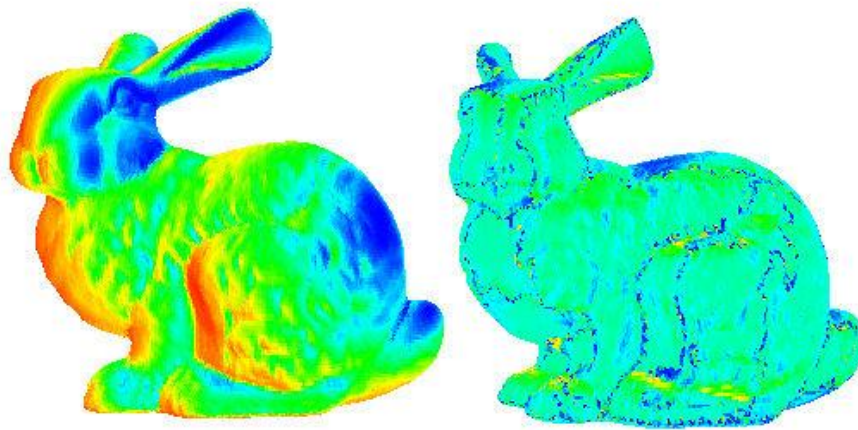
## CRITERIOS DE SIMILITUD, TAMAÑO Y CALIDAD

En el proceso de mejora de mallas se espera poder contar con elementos de tamaño y calidad particular, cumpliendo ciertas restricciones de volumen; de acuerdo al requerimiento del problema, tales como los mostrados en la [Figura 1].

Las mejoras más importantes y eficientes de calidad provienen de reubicar los vértices aplicando filtrados de suavizado local [7 et al] o suavizados de toda la malla, tal como [8]. Estos métodos se basan en ubicar los vértices en el centro geométrico de los triángulos que inciden. El problema, es que este mecanismo suele reducir el volumen de la malla.

Por otro lado, para tener un tamaño dado de elementos, es necesario elegir que elementos dividir y cuales eliminar. Este último, también puede llevar a diferencias de volumen significativas, En [9] define una métrica para elegir las aristas a ser removidas sin que se afecte considerablemente la apariencia.

Adicionalmente, el proceso de selección de elementos a procesarse debe ser eficiente. Por lo que se propone utilizar un esquema de clasificación basado en *Hashing*, en el cual el indicador usado sirve como índice a los elementos pero se requiere calcular de forma óptima la distribución de elemento entre los baldes de la estructura.



*Fig. 1 criterios posibles para dirigir el remallado mapeados indicados con un pseudo-color (izq.) tamaño de acuerdo a la iluminación (der.) calidad de los elementos*

Finalmente, una forma de evaluar la similitud entre mallas, es medir el volumen encerrado entre la original y la simplificada, a mayor volumen mayor error. Para esto, se utiliza el volumen encerrado de todos los prismas que se forman entre el centro del triángulo simplificado y el centro del triángulo original. El problema es que las mallas no preservan la cantidad de elementos, por lo que es necesaria otra aproximación. Construir estos prismas cuando las mallas se modifica, no es una tarea trivial, es necesario encontrar los triángulos opuestos de una y otra malla. Para este fin, se propone un algoritmo de ray-casting que busca a partir de un triángulo de la malla evaluada el correspondiente en la malla de referencia. Una vez obtenido, y a fin de reducir dicho error, se proyectan los vértices de la malla modificada a la de referencia.

## **PROCESO DE REMALLADO**

El método propuesto parte de mallas generadas por herramientas CADs o por sistemas automáticos. Como se señaló estas mallas presentan falencias por lo que se busca optimizar en base a los tres criterios nombrados, de forma iterativa. Las principales etapas del método son:

- (1) Definición de la malla inicial y del tamaño de elemento deseado.
- (2) Remallado local de la superficie inicial para satisfacer los requerimientos de tamaño.
- (3) Mejora de la calidad basada en reubicación de los puntos e intercambio de aristas.
- (4) Medición y reducción de la diferencias de volumen entre la malla modificada y la original.

Las mallas no cumplen en una sola iteración del algoritmo con las condiciones dadas. Es por eso, que debe volver aplicarse de forma reiterada. Dado que todos los criterios difícilmente pueden ser alcanzados simultáneamente, se debe recurrir a una aproximación. En el proceso propuesto, se aplica un criterio por vez de forma independiente, y se debe cumplir una tolerancia mínima dada.

## PARALELIZACIÓN DEL PROCESO

El proceso presentado puede volverse pesado cuando las mallas son muy densas. Para lograr tiempos de procesamiento mínimos, se evalúan alternativas que aprovechan el hardware paralelo disponible, las cuales detallamos a continuación.

### A NIVEL DE DATOS

Para el procesamiento en paralelo, existen patrones conocidos [11], que simplifican el entendimiento y posterior implementación de dichos procesos. Los patrones que más se adaptan a esta línea, de mallas irregulares, proponen generalmente una división espacial del problema y un posterior procesamiento distribuido.

Con esta idea, se requiere un pre-procesamiento en donde los vértices/triángulos se separen por *Patches*. Una estrategia posible calcula los componentes con mínima conectividad. Otro mecanismo que resulta útil y eficiente para la generación de *Patches* es mediante una partición por *K-Means*, como en la [Figura 2] donde el dato descriptor es la normal en los elementos.

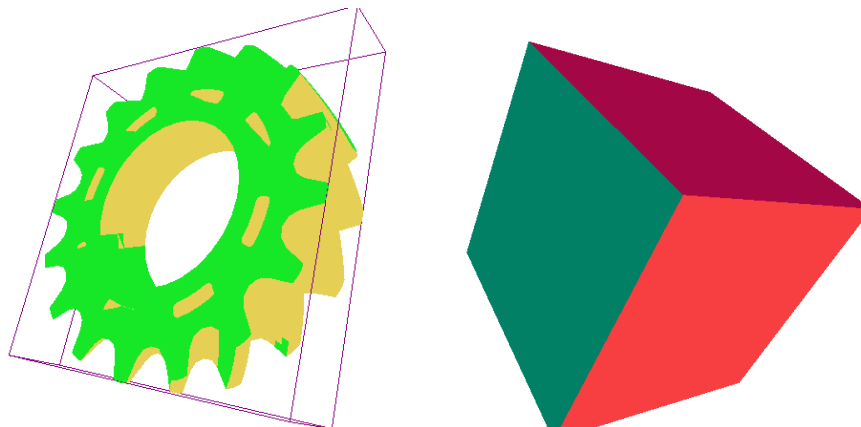


Fig.2.Segmentación de mallas basadas en *K-Means*. Cada *patch* tiene un color diferente.

Una vez calculados los *patches*, el proceso de remallado ahora se ejecuta en 2 sub-etapas:

1. Procesamiento en paralelo de los elementos propios del *Patch*
2. Procesamiento lineal de las fronteras de los *Patches*

Finalmente, se evalúa la convergencia del método y en caso que no, se continúa con el procesamiento.

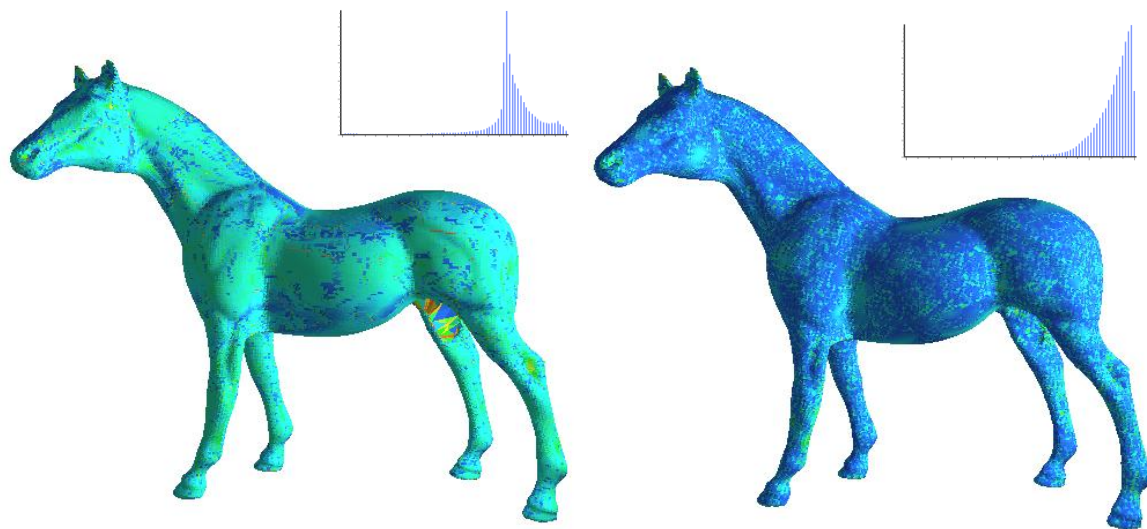
### IMPLEMENTACIÓN DE PARTE DEL PROCESAMIENTO EN GPU

Utilizar las GPU para el procesamiento general es un tema de estudio, dado que en realidad, estos dispositivos no manejan la misma cantidad de instrucciones que una CPU común y se encuentran limitadas en el manejo de memoria. Estas restricciones, hacen que se deban replantear las estructuras que estaban siendo usadas hasta el momento. Uno de los mayores desafíos en GPU es como modificar los datos de entrada.

Como punto de partida, se propone migrar solamente a GPU el cálculo del error volumétrico, dada su alta complejidad temporal, y con la virtud que los datos no son modificados. El algoritmo de ray-casting es re-implementado acorde a la arquitectura, como en [10], y las estructuras se transfieren de memoria de CPU a la de GPU utilizando un patrón de mapeo convenientemente definido.

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las técnicas y estrategias de optimización de mallas hasta aquí presentadas han logrado mejoras considerables de las mallas, como la [Figura 3] en tiempos razonables. Se propone ahondar en los criterios propuestos, para formalizar un criterio unificado que gobierne eficazmente el proceso de remallado. Además se extenderá la utilización de la GPU aplicándola en métodos tales como el suavizado, el intercambio de aristas y otros.



*Fig. 3. (izq.) malla de un caballo con 96.000 triángulos y calidad promedio de 0,76 (der.) Versión optimizada con 71.000 triángulos y calidad promedio de 0,91.*

## REFERENCIAS

- [1] Coupez T., “A mesh improvement method for 3D automatic remeshing”. 4th Int. conference on numerical grid generation in computational fluid dynamics and related fields, pp. 615-626, (1994)
- [2] J. Suárez, A.Plaza G. Carey, “Diagrama geométrico y subdivisión híbrida de triángulos” Revista Int. de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería Vol. 25, 1, pp.61-78 (2009)
- [3] G. Taubin. “Estimating the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation”. In Proc. of Int. Conf. on Computer Vision, pp. 902–907, (1995).
- [4] Y. Zhang, C. Bajaj, and G. Xu. “Surface smoothing and quality improvement of quadrilateral meshes with geometric flow”. In Proc. 13th Int. Meshing Roundtable, (2005)
- [5] M.Vénere, “Optimización de la calidad de mallas de elemento finito mediante cambios localizados en la topología”, Revista Internacional de Métodos Numéricos, Vol.13, pp. 3-13, (1997)

- [6] D. Wang, O. Hassan, K. Morgan, N. Weatherill “EQSM: An efficient high quality surface grid generation method based on remeshing” C.. *Methods Appl. Mech. Engrg.* 195 5621–5633(2006)
- [7] M. Brewer, L. F. Diachin, P. Knupp, T. Leurent, and D. Melander. “The Mesquite mesh quality improvement toolkit”. In *Proc. 12th Int. Meshing Round-table*, pp. 239–250, (2003)
- [8] Sorkine O., Cohen-Or D., Lipman Y. Alexa M, Seidel, H. “Laplacian surface editing”. In *Proceedings of the symposium on Geometry processing*, pp.175–184, (2004)
- [9] P. Heckbert and M. Garland. “Optimal Triangulation and Quadric-Based Surface Simplification”. *J. of C. Geometry: Theory and Applications*, 14(1-3), pp. 49-65, (1999)
- [10] L. Alvarado, M.D. Robles Ortega, “Intersección de Segmentos utilizando la tecnología paralela CUDA”, 2006.
- [11] D. Goswami. “A Design Pattern Based Approach for Developing Parallel Applications”. PhD thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, 1999.