

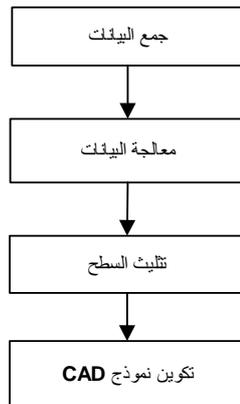
تطوير خوارزميات لإجراء التقليل المنتظم لبيانات الماسحات الضوئية ثلاثية الأبعاد

هناء رمضان الشافعي
جامعة مصراته، الهندسة الصناعية والتصنيع
مصراته، ليبيا
hana.ramadh@eng.misuratau.edu.ly

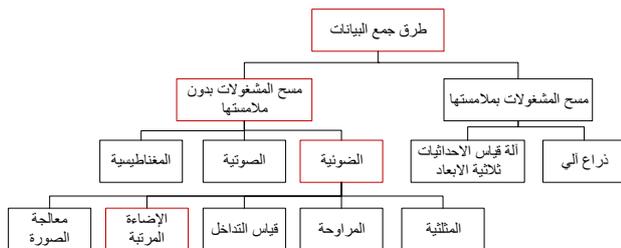
نصرالدين محمد الشويرع
جامعة مصراته، قسم الهندسة الميكانيكية
مصراته، ليبيا
nasseradeen-ashwear@eng.misuratau.edu.ly

محمود علي الجعراي
جامعة مصراته، الهندسة الصناعية والتصنيع
مصراته، ليبيا
m.eljaarani@eng.misuratau.edu.ly

هناك العديد من الطرق المختلفة لجمع البيانات كالمبينة في الشكل رقم 2 وجوهرياً كل طريقة تستعمل آلية للتعامل مع سطح أو حجم الجسم ونسبة تعقيده. هناك طرق لمسح المشغولات بدون ملامستها منها الضوئية، الصوتية والمغناطيسية بينما في طرق الملامسة للسطح تكون باستعمال مجس ميكانيكي في نهاية الذراع أو الآلة المستعملة للقياس. في كل حالة يجب إجراء تحليل مناسب لتقدير موقع النقاط على سطح الجسم والمأخوذة من قراءات مادبة. كل الطرق لها مميزات وعيوب، ونظام جمع البيانات يجب أن يُختار بعناية نسبةً إلى شكل القطعة المطلوب جمع بياناتها.



شكل 1. المراحل الأساسية للهندسة العكسية



شكل 2. طرق جمع البيانات

بعد الخطوة الأساسية لعملية جمع البيانات بسحابة النقاط تأتي عملية معالجتها، فمن الضروري تطوير بيانات سحابة النقاط المتحصل عليها من الماسح الضوئي، كما أن تحليل البيانات ومعالجتها في المرحلة الأولى، ينتج عنه دمج للبيانات وإجراء عمليات المواءمة الناتجة من تجميع المسح المتعدد في سحابة واحدة بها كمية كبيرة من البيانات ثلاثية الأبعاد. وعملية معالجتها البيانات تتضمن كلا من:

المخلص— تقليل سحابة النقاط له فوائد مختلفة منها ما يؤدي لتقليل وقت مرحلة بناء الشبكة المثبتة، إضافة إلى ذلك فإن تقليل سحابة النقاط يؤدي إلى تصفية سحابة النقاط الناتجة من توحيد مجموعة من سحابات النقاط المختلفة. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير خوارزميات لمرحلة معالجة البيانات التي حصل عليها عن طريق الماسحات الضوئية ثلاثية الأبعاد، واستخدام واجهة المستخدم الرسومية لإخراجها، هذه البيانات هي مجموعة كبيرة من النقاط التي تمثل السطح الخارجي للمنتج، بحيث يمكن الحصول منها على النموذج الإلكتروني ثلاثي الأبعاد للكائن الهدف، ويمكن اعتبار الملف الذي تم إنشاؤه على أنه مدخلات لتمثيل السطح الأولية ومن ثم إلى آلة النمذجة السريعة، أو في صيغة يمكن أن تُرسل إلى آلات التشغيل المبرمج مما يشكل الخطوة النهائية لكامل عملية الهندسة العكسية، أو لبنية برمجيات التصميم والتصنيع باستخدام الحاسوب لتوليد نماذج هندسية عالية الجودة. في هذه الدراسة تم وصف التقليل المنتظم والخوارزميات المستخدمة لذلك، يليه تطبيق واجهة المستخدم الرسومية، حيث كان مصدر الأمثلة التطبيقية لسحابة النقاط مستند على استعمال الحاسوب الإلكتروني المتكون من عدد اثنين آلات تصوير أحادية اللون للحصول على صور للسطح وبدقة 1024×768pixel، وجهاز عرض رقمي خفيف ذو لون أحادي أبيض لكي يولد سلسلة من الحافات البيضاء والسوداء المتوازنة بموصفات 1280×960pixel، هذا النظام يجعل من الممكن الحصول على 784641 من النقاط التي تُعرف المجال العام لتجميع البيانات. لذلك من الممكن الحصول على التفاصيل حتى للأجسام المعقدة، ووضع مقارنة باستعمال برامج التصميم والتصنيع التجارية، حيث استخدم برنامج GEOMAGIC في التليلت وخلق Stl للتطبيقات المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: الهندسة العكسية، التقليل المنتظم، GUI، سحابة النقاط، ديلاوني، Voxel، StL، df، المنتج النهائي

1. المقدمة

توصف الهندسة العكسية بأنها عملية قياس فيزيائية لجزء ما أو لقطعة مصنوعة يدوياً، وإنتاج نموذج إلكتروني لها، وإعداد رسومات يدوية أو بمساعدة الحاسوب، وإعداد البيانات الهندسية اللازمة لإعادة تصنيعها. بمعنى آخر تبدأ الهندسة العكسية من المنتج النهائي، ويتم العمل عكسياً للوصول إلى الوثائق التي تبين خطوات إنتاج المنتج الأصلي عن طريق تحليل المنتج ومكوناته الجزئية، وتحليل العلاقات الداخلية لتلك المكونات. المخططات والنماذج الإلكترونية سواء ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد لمنتج ما غير متوفرة، وهي في الغالب ضرورية في البيئة الإنتاجية وكذلك لعملية توليد نموذج وتحديد معالمه باستخدام تقنية الهندسة العكسية، والتي تغطي الكثير من الأنشطة والمجالات.

إن الهدف النهائي لأنظمة الهندسة العكسية هو الوصول إلى ماسح ضوئي ذكي ثلاثي الأبعاد، وهو امر لا يزال اليوم مشكلة صعبة ومعقدة، وبصفة عامة فإن المراحل الأساسية للهندسة العكسية يمكن أن تكون كما في المخطط الانسيابي المبين في الشكل رقم 1.

استلمت الورقة بالكامل في 19 أكتوبر 2020 وروجعت في 13 ديسمبر 2020
وقبلت للنشر في 18 ديسمبر 2020

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 21 ديسمبر 2020

1.1 التقليل المنتظم للبيانات والتصفية

القيم القصوى لهذه المسافات تُسجل في المتغير (L)، ويتم اختيار الجانب الأقصر للمكعب والذي يمكن أن يقرب الجسم الحقيقي بدقة كبيرة "صندوق الإحاطة".

وفي هذه الخطوة يطلب من المستخدم تقديم قيمة المتغير (df)، والذي يمثل طول أحد الأضلاع للمكعب الصغير (قياس لحجم الوحدة الأصغر، $Voxel$)، لكي يُستعمل في تعقب صندوق الإحاطة.

بينما يشكل تعقب صندوق الإحاطة الخطوة الأولى في عملية تقليل البيانات، لكن قيمة السماحية (t) يجب أن تضاف إلى المتغير (L) لتجنب وقوع بعض النقاط على سطح المكعب "حافة الإحاطة" والتي تؤدي إلى "خطأ الحافة" لذا فإن الحافة تبني باستخدام الجانب الأطول كما في المعادلة (4).

$$L' = (t + L) \quad (4)$$

ونظراً لأن الجسم متركز داخل الحجم المحسوب، لذلك فإن متغير السماحية (t) على الجانب الأطول منقسم إلى جزئين متساويين ويساوي كلا منهما $\frac{t}{2}$

والتي تحسب ألياً في دالة الطول (L) والمتغير (df) كالتالي:
قيمة محسوبة باستعمال المعادلة (5):

$$n.p = \frac{L}{df} \quad (5)$$

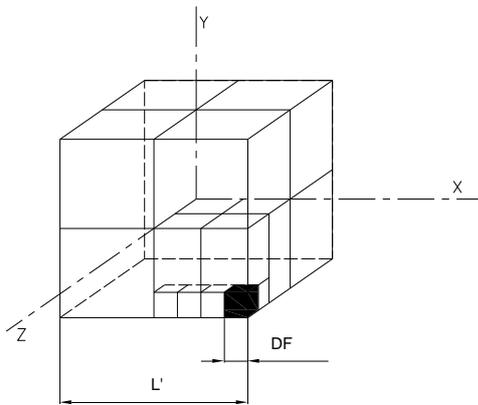
حيث ($n.p$) تمثل عدد عناصر الوحدة التي بها الجانب (L)، لذا فإن العدد الفعلي لانقسامات الجانب (L) سيعطى بالعدد الصحيح $\frac{L+t}{df}$ ، كما في المعادلة (6).

$$\frac{L+t}{df} = INT_{sup}(n.p) \quad (6)$$

القيمة (t) يمكن إيجادها من المعادلة (7).

$$t = INT_{sup}(n.p) \cdot df - L \quad (7)$$

وبذلك فإن جانب صندوق الإحاطة $L' = (t + L)$ وهو نقطة البداية في تقليل النقاط أصبحت معروفة كما في الشكل رقم 3.



شكل 3. تمثيل (Octree) في تقسيم (Voxel)

سيكون هذا الحجم مقسم بشكل متكرر إلى ثمانية، والتعبير أثمان يستعمل لتعريف أي خطوة انقسام. وعملية انقسام الحجم إلى أثمان تتضمن تحديد المطلوب والمعروف بـ $Voxel$ تسمى $Octree$ وهو يتكون من تركيبية البداية Oct ، بمعنى ثمن يكافئ عدد التقسيم لكل خطوة، و $Tree$ يمثل شجرة البيانات التي تتوفر ألياً. تم اختيار تركيب $Octree$ لأنه يسمح بتخزين بيانات السطح أو الحجم باستهلاك أقل للذاكرة، لذا هو الأكثر ملائمة للمحاكاة [10].

تقليل البيانات المنتظم يجعل من الممكن تقليل عدد النقاط والحفاظ على الخصائص الهندسية للجسم الحقيقي، ويسرع المرحلة القادمة وهي التثليث. إضافة إلى ذلك ينجح التقليل في إزالة الضوضاء من عملية الموازنة عند تجميع المسح المتعدد، وعملية التقليل تستند على مجموعة تكرارية من عملية انقسام المكعبات إلى عدد ثمانية مكعبات تسمى "أثمان" ($Voxel$) [2-1].

2.1 التثليث (Triangulation)

في هذه المرحلة تتم الإشارة إلى بيانات سحابة النقاط التي سجلت بصيغة (ASCII) في ملف نصي، المقصود منه القدرة على إنتاج تمثيل سطحي للبيانات المتحصل عليها.

مشكلة تثليث سحابة النقاط ليس لها حل وحيد وفريد، لكن لكل منها خصوصية وطبيعة يشكلها سطح القطعة الأصلي [3]. ومن خلال البحوث والدراسات السابقة هناك أنواع مختلفة من الطرق لحل مشكلة التثليث، اثنان منها رئيسية وهما التثليث أو التقسيم. في هذه الدراسة تم اتباع طريقة "التثليث" فمن نقطة البداية يتم تحليل كل البيانات المتوفرة وإجراء عملية تسمى $Convex\ hull$ وهي تمثل أقل تثليث للسطح والتحدب الموجود فيه، أي أن كل نقاط السحابة التي تقع على سطحه في نقطة البداية تكون ممثلة للسطح الحقيقي للقطعة، ومنها تبدأ عملية أخرى لمواصلة العثور على النقاط التي تقع على السطح الحقيقي [4]. أما طريقة التقسيم تعتمد على تقسيم القطعة إلى أجزاء صغيرة، وذات أشكال معروفة، يمكن أن تبدأ من عملية واحدة أو أكثر من العمليات بعد اختيار نقطة القوس ودراستها بين منطقة وأخرى قريبة منها، وطبقاً لهذا التحليل فانه من المحتمل حدوث زيادة لكثافة البيانات في بعض المناطق [5-6].

وبمقارنة التثليث بالتقسيم فالأخير هو طريقة مختلفة تشير إلى محاولة معرفة محيط الشكل وحوافه، وهذا الأسلوب يسمى $edge\ based$ [7].

3.1 تكوين ملف في صيغة StL

(Stereolithography file format)

تكوين ملف (StL) يمثل الخطوات الحاسمة لعملية معالجة البيانات وإرسالها إلى آلات النمذجة السريعة، الملف أو الملفات النهائية يجب أن تكون في الصيغة النمذجية الصلبة لكي يكون لها نموذج أصلي (ملف StL) مسمى من قبل نظام ثلاثي الأبعاد 3D System for Stereolithography وهو يمثل حالياً صيغة الملف القياسية لكل الأنظمة الأمريكية للنمذجة السريعة، ملف StL يمثل تثليث النماذج الصلبة. المثلثات الفردية ممثلة بالإحداثيات البسيطة في صيغة ملف نصي. بعد تكوين الملف يجب أن يهين بطرق تتماشى مع الأنواع المختلفة لأنظمة النمذجة السريعة، وبعض الأنظمة يمكن أن تقبل ملف StL مباشرة، الذي يمثل أحد المراحل الحاسمة المحتملة للعملية الكاملة للهندسة العكسية، بينما تتطلب بعض الأنظمة الأخرى إلى عملية معالجة جديدة، وهي التأكد من ملف (StL) وتشريحه وإعداد المتغيرات للسيطرة على الآلات، وهي عملية عادة تقام في حاسوب منفصل عن نظام النمذجة السريعة، لتوفير الوقت [8-9].

2. التقليل المنتظم لسحابة النقاط

تقليل سحابة النقاط له فوائد مختلفة منها ما يؤدي لتقليل وقت مرحلة بناء الشبكة المثلثية إضافة إلى ذلك فإن تقليل سحابة النقاط يؤدي إلى تصفية سحابة النقاط الناتجة من توحيد مجموعة من سحابات النقاط المختلفة. وتقليل البيانات ضروري لإدارة البيانات وسعة الذاكرة الحظية للحاسوب المستخدم والفقرة التالية فيها تفصيل أكثر عن نظرية التقليل.

1.2 تقليل البيانات (Data Reduction)

في عملية تقليل البيانات فإن الخطوة الأولى هي قياس الطول الأقصى للجسم وذلك من الإحداثيات z, y, x كما في المعادلات (1-3).

$$\Delta x = |x_{max} - x_{min}| \quad (1)$$

$$\Delta y = |y_{max} - y_{min}| \quad (2)$$

$$\Delta z = |z_{max} - z_{min}| \quad (3)$$

يتم التحقق من أن الثمن كامل ويحتوي على نقاط أو فارغ، فالأثمان الفارغة ستكون مستبعدة فوراً من العملية الانقسامية وملغية من الذاكرة، حيث يؤدي ذلك إلى توفير وقت حسابي كبير.

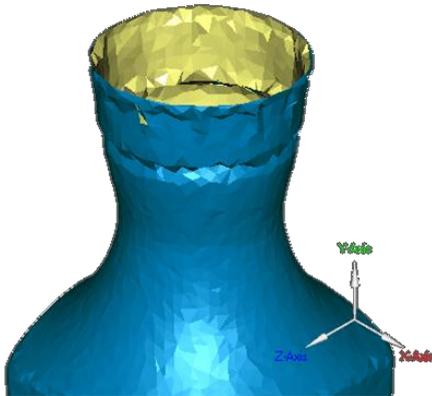
بعد انقسام حجم *Voxel* الكامل يجب أن تُختار نقطة واحدة تمثل كل النقاط الموجودة بـ *Voxel*؛ وذلك بحساب المسافة لكامل النقاط الموجودة فيها ويُعدّها من المركز الهندسي للـ *Voxel*، ويتم اختيار النقطة الأقرب للمركز والتي ستدخل في سحابة النقاط الجديدة، وبذلك تكون جاهزة للخطوة القادمة وهي بناء الشبكة المثالية.

2-2 تصفية سحابة النقاط في منطقة التداخل

يوضح الشكل رقم 4 سطح من سحابة النقاط لنموذج القنينة، هذه السحابة الابتدائية بدون تقليل (كاملة)، ولو انتقل المستخدم مباشرة إلى بناء الشبكة المثالية، فإنه من الوارد جداً حدوث بعض الأخطاء في مناطق الاندماج بين مجموعة السحابات المتكون منها السحابة الرئيسية كما في الشكل رقم 5 والتي من الطبيعي أن يكون بها تداخل في النقاط وعادةً يسمى هذا النوع من الأخطاء بـ "أخطاء التداخل".



شكل 6. معاينة سحابة النقاط "القنينة" بنسبة التقليل (94.62%) والتثليث



شكل 7. تكبير لنفس التفاصيل بسحابة القنينة لإثبات انعدام الأخطاء في التثليث



شكل 4. معاينة سحابة النقاط كاملة "القنينة" بالشبكة المثالية

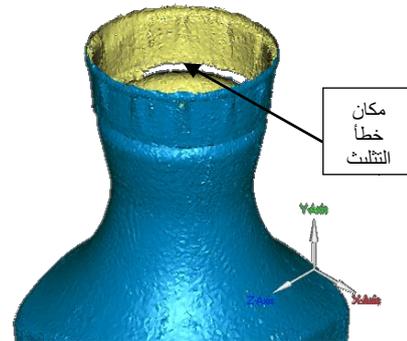
الشكل رقم 6 يعرض الحل لنفس السحابة، بعد تقليلها بـ (94.62%)، وفيه واضح أن منطقة التداخل تحسنت كما في الشكل رقم 7 وصولاً إلى استمرارية النقاط. وفي هذه العملية عنق القنينة هو فقط المدروس وكانت سحابة النقاط الكاملة 108726 نقطة بينما السحابة المقللة 6288 نقطة. هذا التقليل أنجز بالخوارزميات المطورة في هذه الدراسة باستخدام الماتلاب.

2-3 تطبيق الماتلاب

الخوارزمية الأساسية في برنامج الماتلاب لعملية تقليل البيانات موضحة في مخطط التدفق في الشكل رقم 11 فالبدائية من صندوق الإحاطة وتصفية بيانات سحابة النقاط الذي يستمر في تتابع وترتيب بعد خطوة تعريف الثمانية أثمان الأولى.

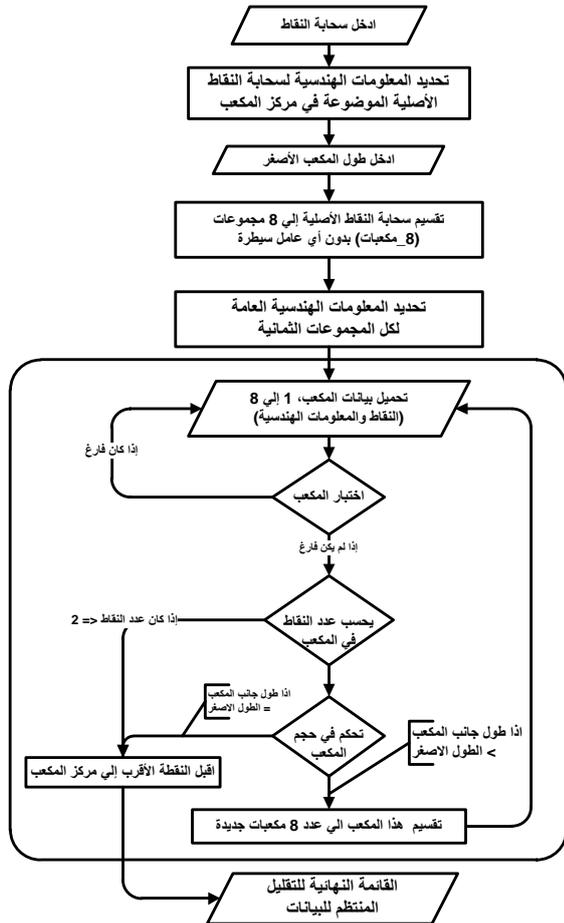
بعد التقسيم الأول تستمر العملية بشكل تكرري بتقسيم أول كل سلسلة جديدة إلى أثمان حتى يتحقق أحد الشرطين: الأول أن تصل إلى البعد الذي حُد من قبل المستخدم الذي يشكل (*Voxel*) ويوضح طول ضلع الوحدة الحجمية الصغرى، والثاني عدد النقاط في (*Voxel*) والتي لا تزيد عن اثنين من النقاط. بعد ذلك يتم الاحتفاظ بنقطة واحدة فقط، والتي تحفظ كنقطة بناء في ناتج الخوارزمية وهو نقاط السحابة المقللة النهائية، وإذا صادف أن أي ثمن لا يحتوي على أي نقاط، فإن العملية ستتوقف وتستمر في الثمن القادم في شكل تسلسلي.

وبهذه التقنية فإن المكان الفارغ من الجسم سيكون معروف وتوقف عملية التقسيم، وهذا فيه تحسين للوقت المستغرق لعملية التقليل. العملية ستحتجز كامل الأثمان التي تم فحصها، فالتقليل النهائي لسحابة النقاط الأصلية كما في الشكل رقم 8 سيكون محفوظاً في ملف به عدد النقاط والوقت المستغرق ونسبة التقليل، وكما هو واضح في الشكلين 9 و10 فإن سحابة النقاط الجديدة منظمة أكثر بكثير من سحابة النقاط



شكل 5. تكبير التفاصيل الصغيرة لإثبات خطأ التثليث

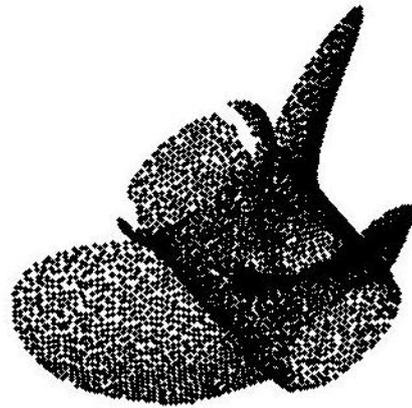
الأصلية، ولها استمرارية أكثر في توزيع النقاط السطحية، والذي سيكون كمدخل للخطوة القادمة من بناء الشبكة المثلية.



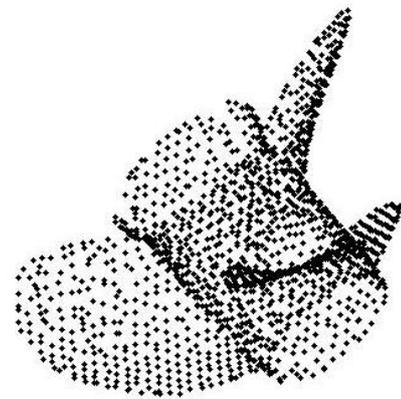
شكل 11. مخطط تدفق عملية التقليل المنتظم للنقاط



شكل 8. مثال لتطبيق دالة التقليل، السحابة الأصلية من (182348) نقطة



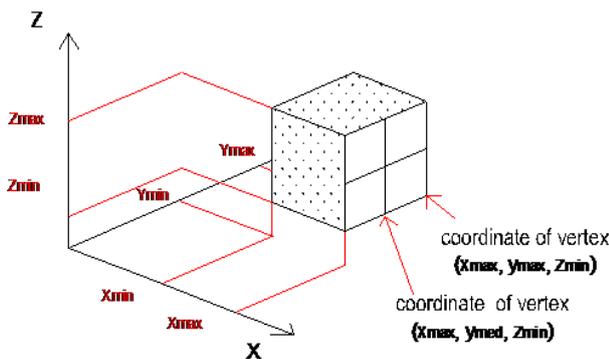
شكل 9. السحابة قللت بـ (96.71%)، (5997) نقطة



شكل 10. السحابة قللت بـ (99.11%)، (1622) نقطة

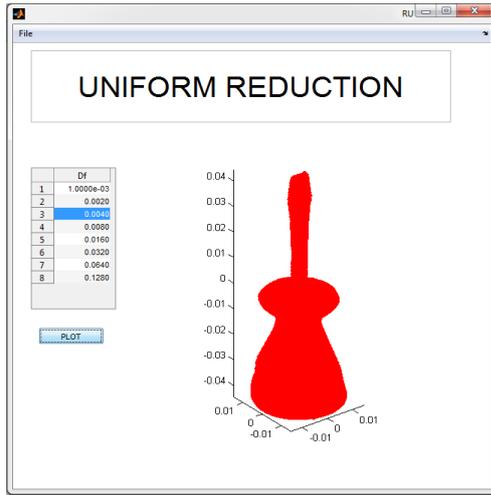
تعتبر خوارزمية دالة الثمن (Octree) المستعملة في برنامج التقليل الرئيسية مهمة جداً لإدارة المعلومات الخاصة بالهندسة الفراغية للأثمان في مراحل الانقسام حتى الوصول إلى أقل عنصر حتمي (voxel). الفراغ الذي يشغله الثمن يمكن إيجاده بالحسابات ويسجل من تسع قيم، ستة منها الرئيسية، وباقي الثلاثة مشتقة من أول ستة، تقابل القيم الرئيسية الحد الأعلى والحد الأدنى للقيم في الإحداثيات الثلاثة (z,y,x)، ومن هذه القيم يُشتق المنتصف الذي يمثل مركز الثمن.

يمكن استنتاج إحداثيات الحافات الثمانية لكل مكعب من مجموعة القيم الرئيسية، بينما لاستنتاج إحداثيات الخطوة التالية من التقسيم يمكن الاستعانة بمجموعة الحافات الأربعة والستون الضرورية لتعريف الأثمان الثمانية، والتي يشملها صندوق الإحاطة كما هو مبين في الشكل رقم 12.



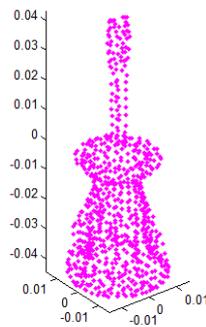
شكل 12. لتحديد إحداثيات صندوق الإحاطة

3_ تظهر لديك سحابة النقاط المراد تقليلها وقيم (df) ويمكن استعراض النتائج بتحديد حجم أصغر مكعب (df) والضغط على الامر (PLOT) كما في شكل 15.



شكل 15. التقليل المنتظم لسحابة النقاط

4_ وهكذا يكون لديك سحابة نقاط مقللة كما في شكل 16.



شكل 16. سحابة النقاط المقللة

4. أمثلة تطبيقية

فيما يلي نستعرض نتائج بعض الأمثلة التطبيقية لسحابة النقاط التي أجري لها التقليل المنتظم باستخدام واجهة المستخدم الرسومية (GUI) في بيئة الماتلاب.

أ. مثال تطبيقي - المفك

يتضح من نتائج التقليل المنتظم لسحابة نقاط المفك باستخدام التطبيق على الماتلاب عند نسب مختلفة كما في جدول 1، كما تظهر في شكل (17- أ) الذي يوضح سحابة النقاط الأصلية، وعدد النقاط بها (27152)، فعند التقليل بنسبة (88.53%) أصبح عدد النقاط (3113)، وهي نقاط السحابة النهائية التي تعتبر كمدخل لعملية التلايث كما نلاحظ في شكل (17- ب). التقليل بنسب أكبر يؤدي إلى اختفاء المعالم الدقيقة للشكل العام للمفك كما في شكل (17- ج).

تقوم خوارزمية انقسام سحابة النقاط بأخذ سحابة النقاط وهندسة الفراغ الموجود به الثمن، وتعود بثمانية مجموعات لسحابة النقاط المستعملة كمدخلات مستندة على الأثمان الثمانية الأولى. بينما تقوم خوارزمية أخرى بحساب المسافة بين مركز الـ Voxel والنقاط وهي تستخدم معادلة Euclidean (المعادلة رقم 8) لحساب المسافة d بين نقطتين في الفراغ، (z_2, y_2, x_2) و (z_1, y_1, x_1)

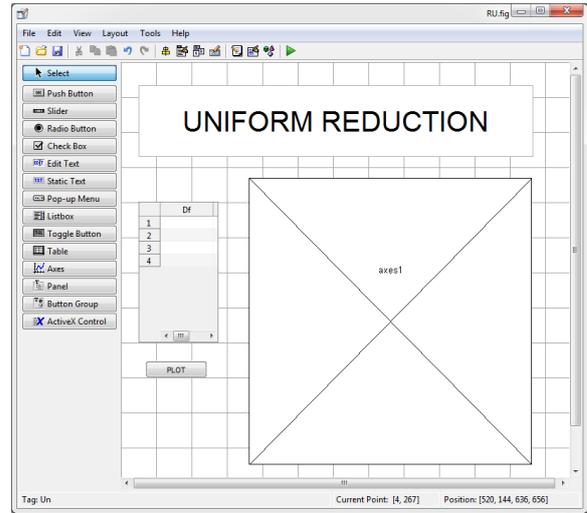
$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (8)$$

والتي في حالتنا هذه هي المسافة بين كل نقطة من النقاط الموجودة في الـ (VOXEL) ومركزه، وستختار النقطة التي تقابل أقل مسافة، وهو معيار يسمح بأن يصبح التقليل منتظم.

3. واجهة المستخدم الرسومية باستخدام الماتلاب

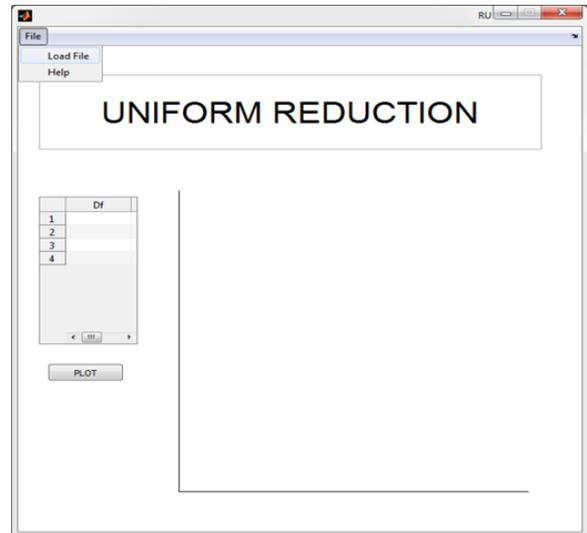
في هذه الدراسة تم بناء وبرمجة الواجهة GUI وذلك باتباع الخطوات التالية:

1_ فتح GUI جديدة في محرر التخطيط ووضع عناصر التحكم كما هو مبين في الشكل رقم 13.

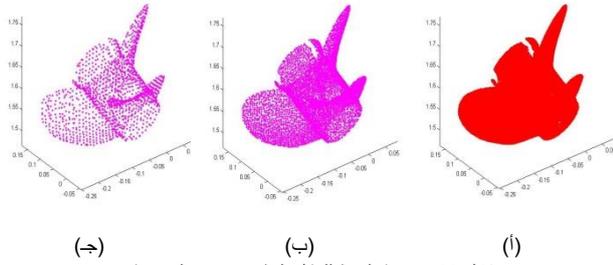


شكل 13. واجهة المستخدم الرسومية

2_ بعد ذلك يكون تنفيذ البرنامج كما موضح في شكل 14، وتحميل سحابة النقاط المراد إجراء التقليل لها.



شكل 14. تحميل سحابة النقاط



شكل 18. سحابة النقاط للمثال التطبيقي ريش المروحة (أ) سحابة النقاط الأصلية لمروحة عدد النقاط (182348)، و (ب) و (ج) التقليل المنتظم لسحابة نقاط المروحة عدد النقاط (1622، 5997) على التوالي.

ج. مثال تطبيقي - القنبية

نتائج التقليل المنتظم لسحابة نقاط المثال التطبيقي القنبية باستخدام التطبيق على الماتلاب عند نسب مختلفة كانت كما في الجدول رقم 3 ومبينة في شكل (19- أ) والذي يوضح سحابة النقاط الأصلية، وعدد النقاط بها 116866، وعند التقليل بنسبة 94.62% أصبح عدد النقاط 6288، وهي نقاط السحابة

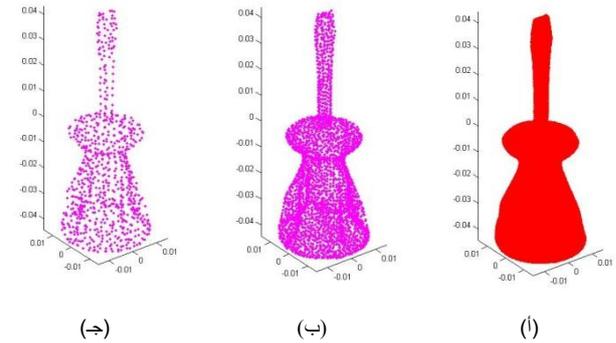
النهائية التي تعتبر كمدخل لعملية التثليث كما في شكل (19- ب). الاستمرار في التقليل بنسب أكبر يؤدي إلى اختفاء المعالم الدقيقة للشكل العام للقنبية كما في شكل (19- ج).

جدول 3. نتائج التقليل المنتظم لسحابة النقاط للمثال التطبيقي - القنبية

| الوقت المستغرق للتقليل بالثانية | نسبة التقليل % | النقاط النهائية | النقاط الابتدائية | قيمة df |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------|
| 17.3005 | 8.43 | 107010 | 116866 | 0.001 |
| 12.7453 | 14.58 | 99823 | 107010 | 0.002 |
| 8.65806 | 42.80 | 66844 | 99823 | 0.004 |
| 3.97803 | 79.60 | 23844 | 66844 | 0.008 |
| 0.93601 | 94.62 | 6288 | 23844 | 0.016 |
| 0.23400 | 98.67 | 1557 | 6288 | 0.032 |
| 0.10920 | 99.65 | 413 | 1557 | 0.064 |
| 0.07800 | 99.92 | 92 | 413 | 0.128 |

جدول 1. نتائج التقليل المنتظم لسحابة النقاط للمثال التطبيقي - المفك

| الوقت المستغرق للتقليل بالثانية | نسبة التقليل % | النقاط النهائية | النقاط الابتدائية | قيمة df |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------|
| 1.48201 | 59.07 | 11112 | 27152 | 0.001 |
| 0.35240 | 88.53 | 3113 | 11112 | 0.002 |
| 0.15600 | 97.06 | 799 | 3113 | 0.004 |
| 0.04680 | 99.62 | 102 | 799 | 0.008 |
| 0.03120 | 99.89 | 30 | 102 | 0.016 |
| 0 | 99.96 | 12 | 30 | 0.032 |
| 0.03120 | 99.97 | 8 | 12 | 0.064 |
| 0 | 99.97 | 8 | 8 | 0.128 |



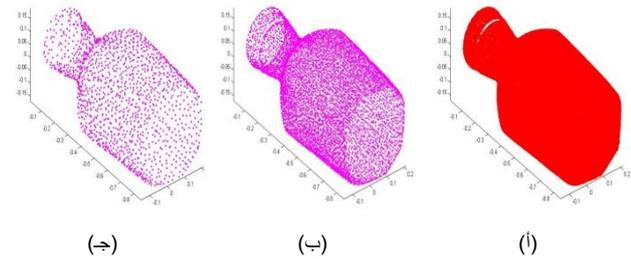
شكل 17. سحابة النقاط للمثال التطبيقي المفك (أ) سحابة النقاط الأصلية للمفك عدد النقاط (27152)، و (ب) و (ج) التقليل المنتظم لسحابة نقاط المفك وعدد النقاط (799، 3113) على التوالي.

ب. مثال تطبيقي - ريش المروحة

يتضح من نتائج التقليل المنتظم لسحابة نقاط المثال التطبيقي ريش المروحة كما في جدول رقم 2 والظاهرة في الشكل رقم (18- أ) أن سحابة النقاط الأصلية، وعدد النقاط بها (182348)، وعند التقليل بنسبة (96.71%) أصبح عدد النقاط (5997)، وهي نقاط السحابة النهائية التي تعتبر كمدخل لعملية التثليث كما نلاحظ في شكل (18- ب)، ويلاحظ أن الاستمرار في التقليل بنسب أكبر سيؤدي إلى اختفاء المعالم الدقيقة للشكل العام لريش المروحة كما في شكل (18- ج).

جدول 2. نتائج التقليل المنتظم لسحابة النقاط للمثال التطبيقي - ريش المروحة

| الوقت المستغرق للتقليل بالثانية | نسبة التقليل % | النقاط النهائية | النقاط الابتدائية | قيمة df |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------|
| 27.6278 | 12.35 | 159821 | 182348 | 0.001 |
| 18.8917 | 59.15 | 74490 | 159821 | 0.002 |
| 4.77363 | 87.95 | 21969 | 74490 | 0.004 |
| 0.92041 | 96.71 | 5997 | 21969 | 0.008 |
| 0.28080 | 99.11 | 1622 | 5997 | 0.016 |
| 0.12480 | 99.76 | 439 | 1622 | 0.032 |
| 0.09360 | 99.94 | 116 | 439 | 0.064 |
| 0 | 99.98 | 32 | 116 | 0.128 |



شكل 19. سحابة النقاط للمثال التطبيقي القنبية (أ) سحابة النقاط الأصلية لقنبية عدد النقاط (116866)، و (ب) و (ج) التقليل المنتظم لسحابة نقاط القنبية عدد النقاط (1557، 6288) على التوالي.

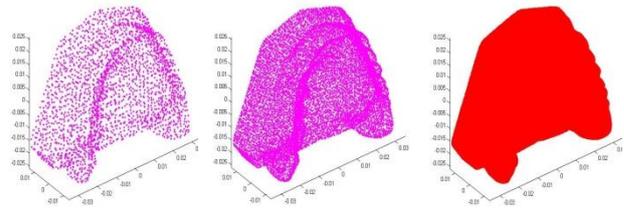
د. مثال تطبيقي - طاقم الأسنان

التقليل المنتظم لسحابة نقاط طاقم الأسنان عند نسب مختلفة مبينة في الجدول رقم 4 والشكل رقم (20- أ) والذي يوضح سحابة النقاط الأصلية، وعدد النقاط بها 116604، وعند التقليل بنسبة 91.11% أصبح عدد النقاط 10363، وهي نقاط السحابة النهائية التي تعتبر كمدخل لعملية التثليث كما نلاحظ في شكل (20- ب). والاستمرار في التقليل بنسب أكبر سيؤدي إلى اختفاء المعالم الدقيقة للشكل العام لطاقم الأسنان كما في شكل (20- ج).

- [6] Yang, M. and E. Lee, Segmentation of measured point data using a parametric quadric surface approximation. Computer-Aided Design, 1999. 31(7): p. 449-457.
- [7] Varady, T., R.R. Martin, and J. Cox, Reverse engineering of geometric models--an introduction. Computer-Aided Design, 1997. 29(4): p. 255-268.
- [8] Szilvsi-Nagy, M. and G. Matyasi, Analysis of STL files. Mathematical and Computer Modelling, 2003. 38(7-9): p. 945-960.
- [9] Yan, X. and P. Gu, A review of rapid prototyping technologies and systems. Computer-Aided Design, 1996. 28(4): p. 307-318.
- [10] L. Carassale, M. Eljaarani, A. Paoli, A. V. Rationale. Uniform and non-uniform simplification of 3D point cloud data (PCD) sets obtained by Reverse Engineering systems. Proceedings of XVII INGEGRAF – XV ADM 2005, June 1st – 3rd 2005, Sevilla, Spain.
- [11] Libes, D., Modeling dynamic surfaces with octrees. Computers & Graphics, 1991. 15(3): p. 383-387.

جدول 4. نتائج التقليل المنتظم لسحابة النقاط للمثال التطبيقي - طاقم أسنان

| الوقت المستغرق للتقليل بالثانية | نسبة التقليل % | النقاط النهائية | النقاط الابتدائية | قيمة df |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------|
| 8.23685 | 67.54 | 37852 | 116604 | 0.001 |
| 1.66921 | 91.11 | 10363 | 37852 | 0.002 |
| 0.46800 | 97.71 | 2676 | 10363 | 0.004 |
| 0.23400 | 99.44 | 650 | 2676 | 0.008 |
| 0.10920 | 99.87 | 149 | 650 | 0.016 |
| 0.04680 | 99.97 | 31 | 149 | 0.032 |
| 0 | 99.99 | 8 | 31 | 0.064 |
| 0 | 99.99 | 8 | 8 | 0.128 |



شكل 20. سحابة النقاط للمثال التطبيقي طاقم الاسنان

(أ) سحابة النقاط الأصلية لطاقم أسنان عدد النقاط (116604)، (ب) و (ج) التقليل المنتظم لسحابة نقاط التقنية عدد النقاط (10363، 2676) على التوالي.

5- الاستنتاجات والتوصيات

بعد الحصول على نتائج التقليل المنتظم باستخدام الماتلاب، والتي نلاحظ فيها السهولة في عرض النتائج بالنسبة للمستخدم وإمكانية مقارنة سحابات نتائج التقليل المنتظم. كما نلاحظ تقادي لبعض مشاكل التداخل وتصغير لحجم الملف، ولكن هناك ضياع لبعض التفاصيل الدقيقة في بعض الأماكن التي تتطلب إجراء عملية إرجاع لبعض النقاط بها؛ لذا نوصي بالآتي:

- 1- إجراء دراسة حول "التقليل الغير منتظم".
- 2- مزيد من البحث في عملية التثليث ديلانوي والمرحلة التي تليها وهي توليد ملف (StL) بعد إضافة النقاط في المناطق التي بها عدد كبير من المنحنيات بما يسمى بعملية "التجميل".
- 3- تحويل الخوارزميات إلى البيئة التنفيذية وعمل واجهة برنامج تفاعلي لتنفيذ العمل بكل يسر.

المراجع

- [1] Pauly, M., M. Gross, and L.P. Kobbelt. Efficient simplification of point-sampled surfaces. in VIS 2002, IEEE Visualisation 2002, Oct 27-Nov 1 2002. 2002. Boston, MA, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.
- [2] Shilane, D.N.a.P., Stratified Point Sampling of 3D Models. Eurographics Symposium on Point-Based Graphics, 2004: p. 49--56.
- [3] Hormann, K., from scattered samples to smooth surfaces. Proceedings, the 4th Israel-Korea Bi-National Conference on Geometric Modeling and Computer Graphics, 2003: p. 1-5.
- [4] Boissonnat, J.-D., Geometric Structures for Three-Dimensional Shape Representation. ACM Trans. Graph, 1984. 3: p. 266--286.
- [5] Chung, T.T.a.L., C. Y., An automatic data segmentation method for 3D measured data points. Proceedings, TEEE/ASME International Conference on Advanced Manufacturing Technologies and Education in the 21st Century, 2002: p. 214 (C168).