Codage et compression multimédia

Compte-rendu TP5

Compression de maillage 3D

Louis Jean
Master 1 IMAGINE
Université de Montpellier
N° étudiant : 21914083

5 mars 2024

Table des matières

1 Introduction

La compression de maillage 3D est une problématique centrale dans le domaine de la visualisation et du traitement graphique. Ce TP explore l'application de méthodes avancées de compression, en particulier la quantification Draco et le codage entropique rANS.

2 Initialisation

2.1 Distance RMSE

La distance RMSE est donnée par

$$\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2}$$

avec x_i les sommets du maillage de référence et y_i les sommets du maillage compressé.

Elle sert à donner une indication de différence entre le maillage d'origine et le maillage compressé. Plus elle est petite, plus le maillage compressé est proche du maillage original. **N.B :** les deux maillages considérés doivent avoir le même nombre de sommets.

Dans le code, on parcourt simultanément les sommets des deux maillages, et on calcule leur différence sur chaque composante. Ensuite, on fait une moyenne pondérée pour obtenir la MSE, que l'on réduit à la racine pour obtenir la RMSE.

```
for(size_t i = 0; i < sizeV; i++) {
    mse_x += pow(meshRef.vertices_[i][0]-meshComp.vertices_[i][0],2);
    mse_y += pow(meshRef.vertices_[i][1]-meshComp.vertices_[i][1],2);
    mse_z += pow(meshRef.vertices_[i][2]-meshComp.vertices_[i][2],2);
}
MSE = (1./3.)*((mse_x/sizeV)+(mse_y/sizeV)+(mse_z/sizeV));
double RMSE = sqrt(MSE);
```

Figure 1: Calcul de la distance RMSE

2.2 Distance de Hausdorff

La distance de Hausdorff est une mesure de la dissimilarité maximale entre deux ensembles de points. Elle s'exprime comme

$$d_H(A, B) = \max \left\{ \sup_{a \in A} \inf_{b \in B} d(a, b), \ \sup_{b \in B} \inf_{a \in A} d(a, b) \right\}$$

Cette métrique est particulièrement utile pour évaluer la fidélité d'un maillage compressé par rapport à son original, car elle n'est pas affectée par la densité de sommets. Elle permet d'identifier les pires cas de déformation ou d'erreur de reconstruction, donnant ainsi une mesure de la qualité de la compression sous l'aspect de la conservation de la forme.

Dans le code, on calcule d'abord la distance de tous les points $a \in A$ aux points $b \in B$, pour trouver le $\sup_{a \in A} \inf_{b \in B} d(a, b)$. Ensuite, on inverse les rôles des ensembles pour calculer $\sup_{b \in B} \inf_{a \in A} d(a, b)$. Finalement, la distance de Hausdorff est le maximum de ces deux valeurs.

```
std::vector<double> minDistance(sizeRef,std::numeric_limits<
    double>::max());
for(size_t i = 0; i < sizeRef; i++) {
    for(size_t j = 0; j < sizeComp; j++) {
        double distance = distanceEuclidienne(meshRef.
    vertices_[i],meshComp.vertices_[j]);
        if(distance < minDistance[i]) {
            minDistance[i] = distance;
        }
    }
}
... // Refaire mais dans l'autre sens
return std::max(Haussdorff1,Haussdorff2);
```

Figure 2: Calcul de la distance de Hausdorff

Il est important de noter que le calcul de la distance de Hausdorff peut être coûteux en termes de temps de calcul, en particulier pour des maillages de grande taille, du fait de la double boucle nécessaire pour parcourir tous les couples de points des deux ensembles.

2.3 Initialisation de la quantification

L'objectif principal de cette phase est de déterminer la boîte englobante minimale qui contient tous les sommets du maillage. Ce calcul est crucial car il permet de normaliser les données en fonction de cette boîte, facilitant ainsi les étapes de quantification et de compression. Pour calculer la boîte englobante, on cherche les plus petites et les plus grandes coordonnées sur les trois axes, et on crée deux vecteurs avec ces coordonnées (respectivement min et max), qui représenteront les points extrêmes de notre boîte englobante. À partir de là, on peut calculer le côté le plus long de la boîte englobante (et non pas la diagonale) pour définir la range.

```
1 this->qInfo_.minBoundingBox = minVector(this->vertices_);
2 this->qInfo_.maxBoundingBox = maxVector(this->vertices_);
3 double range_x = this->qInfo_.maxBoundingBox[0] - this->
     qInfo_.minBoundingBox[0];
4 double range_y = this->qInfo_.maxBoundingBox[1] - this->
     qInfo_.minBoundingBox[1];
5 double range_z = this->qInfo_.maxBoundingBox[2] - this->
     qInfo_.minBoundingBox[2];
6 this->qInfo_.range = std::max({range_x,range_y,range_z});
```

Figure 3: Calcul de la boîte englobante minimale et de la range

N.B : les fonctions **minVector** et **maxVector** prennent en paramètre une liste de vecteurs et renvoient un nouveau vecteur composé des plus petites (pour **minVector**) ou des plus grandes (pour **maxVector**) coordonnées trouvées dans la liste.

3 Méthode de Draco

Draco est une bibliothèque pour la compression de maillage 3D. Elle consiste à transformer les coordonnées des sommets du maillage en nombres entiers, ce qui permet une compression plus efficace.

3.1 Quantification

La quantification réduit la précision des coordonnées des sommets du maillage pour diminuer la taille des données. Cette opération s'effectue selon la formule suivante :

$$v'_{\{x,y,z\}} = \left(\frac{v_{\{x,y,z\}} - BB_{\min_{\{x,y,z\}}}}{\text{range}} \right) \cdot (2^{qp} - 1)$$

où $v_{\{x,y,z\}}$ est le vecteur des coordonnées du sommet original, $BB_{\min_{\{x,y,z\}}}$ est le vecteur des coordonnées minimales de la boîte englobante, range est l'étendue de la boîte englobante, et qp est le facteur de quantification. Le résultat $v'_{\{x,y,z\}}$ est le vecteur des coordonnées quantifiées. Cette formule normalise d'abord les coordonnées par la plage, puis les multiplie par $2^{qp} - 1$, ce qui a pour effet de les convertir en entiers sur l'intervalle $[0, 2^{qp} - 1]$.

Dans le code, on applique simplement la formule sur chaque composante, avant de les ajouter à un tableau unidimensionnel en rajoutant 0.5 pour arrondir à l'entier le plus proche.

```
for(size_t i = 0; i < sizeV; i++) {
    unsigned int quant_x = (this->vertices_[i][0] - this->
    qInfo_.minBoundingBox[0]) * (pow(2,this->qInfo_.qp)/this->
    qInfo_.range);
    ...
    this->qInfo_.quantizedVertices[3*i] = (unsigned int)(
    quant_x + 0.5);
    ...
}
```

Figure 4: Quantification des sommets du maillage original

3.2 Déquantification

Lors de la décompression, la déquantification est utilisée pour restaurer les coordonnées des sommets à partir des valeurs quantifiées. Les coordonnées déquantifiées sont calculées en utilisant la formule :

$$v_{\{x,y,z\}} = v'_{\{x,y,z\}} \cdot \frac{\text{range}}{2^{qp} - 1} + BB_{\min_{\{x,y,z\}}}$$

Ici, $v'_{\{x,y,z\}}$ est le vecteur des coordonnées quantifiées. La formule effectue l'opération inverse de la quantification, multipliant d'abord les coordonnées quantifiées par la plage divisée par $2^{qp} - 1$, puis en ajoutant les coordonnées minimales de la boîte englobante pour décaler les points à leur position originale dans l'espace 3D.

```
for(size_t i = 0; i < sizeV; i++) {
    this->vertices_[i][0] = this->qInfo_.quantizedVertices[3*
   i] * (this->qInfo_.range / (pow(2,this->qInfo_.qp) - 1)) +
    this->qInfo_.minBoundingBox[0];
    ...
}
```

Figure 5: Déquantification des sommets du maillage compressé

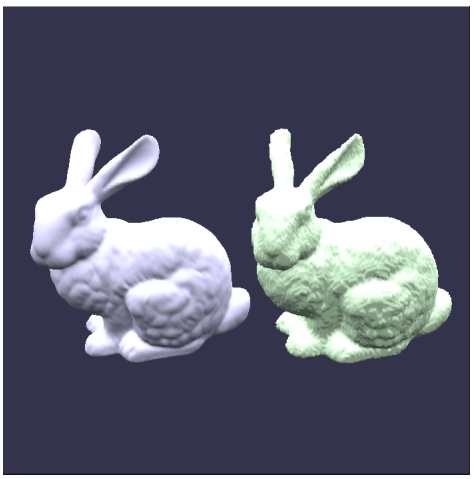
Le processus de déquantification est essentiel pour récupérer une forme géométrique qui soit une approximation de la forme originale du maillage 3D avant la compression. Bien que des pertes soient inévitables en raison de la quantification, la déquantification vise à produire un maillage qui est visuellement aussi proche que possible de l'original.

3.3 Résultats

En testant la méthode Draco sur le maillage *bunny.ply* fourni pour ce TP, voici ce que l'on obtient comme résultats pour différents qp. Le maillage original se trouve sur la gauche (en blanc) et le maillage reconstruit après compression se trouve sur la droite (en vert).

(a) $qp = 1$, RMSE = 0.636074, Hausdorff = 1.60517

(b) $qp = 3$, RMSE = 0.103679, Hausdorff = 0.26462



(c) $qp = 7$, RMSE = 0.00599291, Hausdorff = 0.0196174

(d) $qp = 15$, RMSE = $2.3 \cdot 10^{-5}$, Hausdorff = $8.8 \cdot 10^{-5}$

Figure 6: Rendus de reconstructions avec plusieurs qp différents

3.4 Analyse des résultats

On peut maintenant tracer les courbes des distances RMSE et de Hausdorff en fonction de *qp* (en faisant varier ce dernier de 1 à 30), toujours sur le maillage *bunny.ply*.

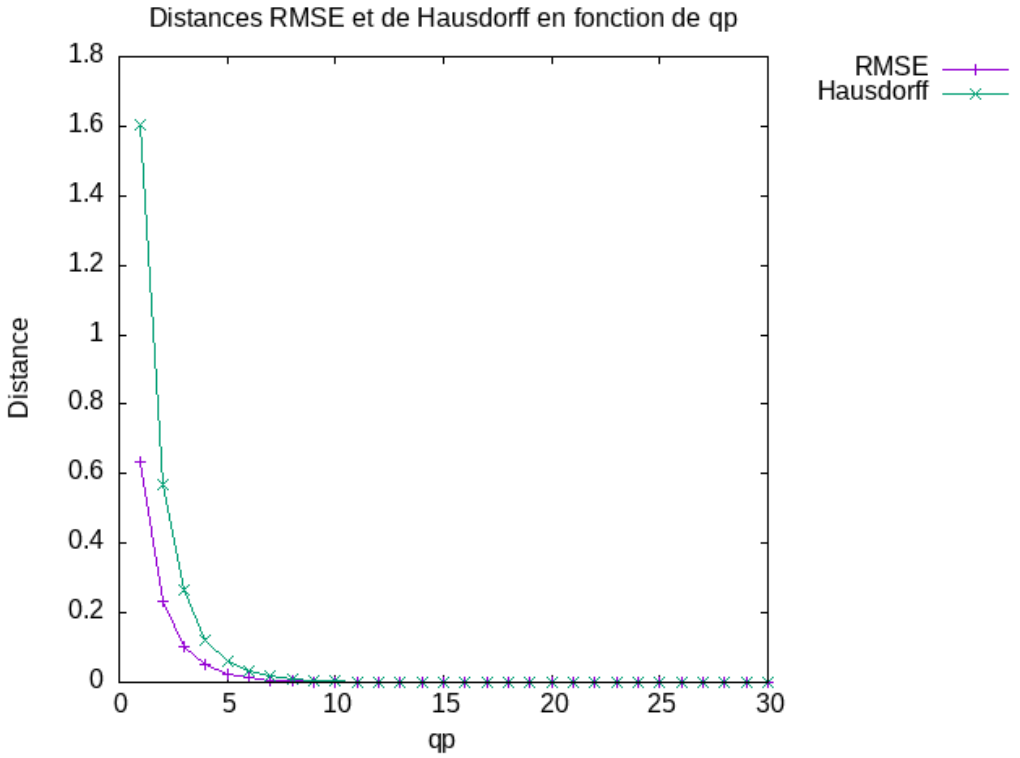


Figure 7: RMSE et Hausdorff en fonction du paramètre de quantification

On cherche à minimiser la distorsion visuelle tout en minimisant la taille occupée par le maillage compressé. Cela nécessite de trouver la valeur optimale de *qp* qui permet d'atteindre un niveau de détail suffisant dans la reconstruction, tout en minimisant la taille du maillage compressé.

En observant les courbes, on remarque que $7 \leq qp \leq 10$ semble être la bonne relation d'ordre pour obtenir le meilleur compromis sur ce maillage.

4 Codage entropique rANS

Le codage entropique rANS (range Asymmetric Numeral Systems) est une méthode de compression de données efficace, exploitant l'entropie des séquences de symboles pour une représentation compacte.

4.1 Encodage

L'encodage rANS transforme une séquence de symboles en un unique nombre entier, représentant de manière compacte l'information originale. La formule d'encodage est la suivante :

$$x_i = \left\lfloor \frac{x_{i-1}}{F_i} \right\rfloor \cdot M + C_i + \mathrm{mod}(x_{i-1}, F_i)$$

où x_i représente l'état encodé après le traitement du symbole i, x_{i-1} est l'état précédent, F_i est la fréquence du symbole i, M est le multiplicateur qui dépend de la somme totale des fréquences, C_i est la fréquence cumulée jusqu'au symbole i, et le terme $\mathrm{mod}(x_{i-1}, F_i)$ est le reste de la division de x_{i-1} par F_i.

4.2 Décodage

Le processus de décodage récupère l'état précédent x_{i-1} à partir de l'état actuel x_i. Sa formule est donnée par :

$$x_{i-1} = \left\lfloor \frac{x_i}{M} \right\rfloor \cdot F_{st} + \mathrm{slot} - C_{st}$$

Ici, F_{st} est la fréquence du symbole à retrouver, slot est calculé comme x_i mod M, et C_{st} est la fréquence cumulée pour le symbole décodé.

La fonction $C^{-1}(x)$ détermine le symbole pour un état donné :

$$C^{-1}(x) = \alpha_i \quad \text{si} \quad C_{\alpha_i} \leq x < C_{\alpha_{i+1}}$$

4.3 Implémentation

Malheureusement, je n'ai pas réussi à bien implémenter ces étapes. J'ai essayé mais je n'obtiens pas des résultats intéressants. Je pense que mon problème vient du décodage, au niveau du calcul de la fonction inverse de la fréquence cumulée :

```
for(size_t i = M; i > 0; i--) {
    unsigned int symbole;
    unsigned long long slot = valeurCodee % M;
    for(const auto& [v, freqCumulee] : frequencesCumulees) {
        if(slot < freqCumulee) {
            symbole = v;
            break;
        }
    }
```

Figure 8: Tentative d'implémentation de la fonction inverse de la fréquence cumulée

J'ai tout de même créé des nouveaux attributs dans la classe **Mesh**, afin de passer les fréquences, fréquences cumulées et valeur encodée dans la fonction de décodage rANS sans modifier les prototypes de fonctions.

N.B : je pense qu'il y a eu une petite coquille dans la fonction **decode_mesh**, car par défaut dans la base de code, l'ordre est

```
this->decode_geometry_quantization();
this->decode_geometry_rANS();
```

au lieu de

```
this->decode_geometry_rANS();
this->decode_geometry_quantization();
```

Si l'on laisse par défaut, on fait la déquantification directement sur des sommets qui sont encore encodés, ce qui n'a pas de sens pour moi.

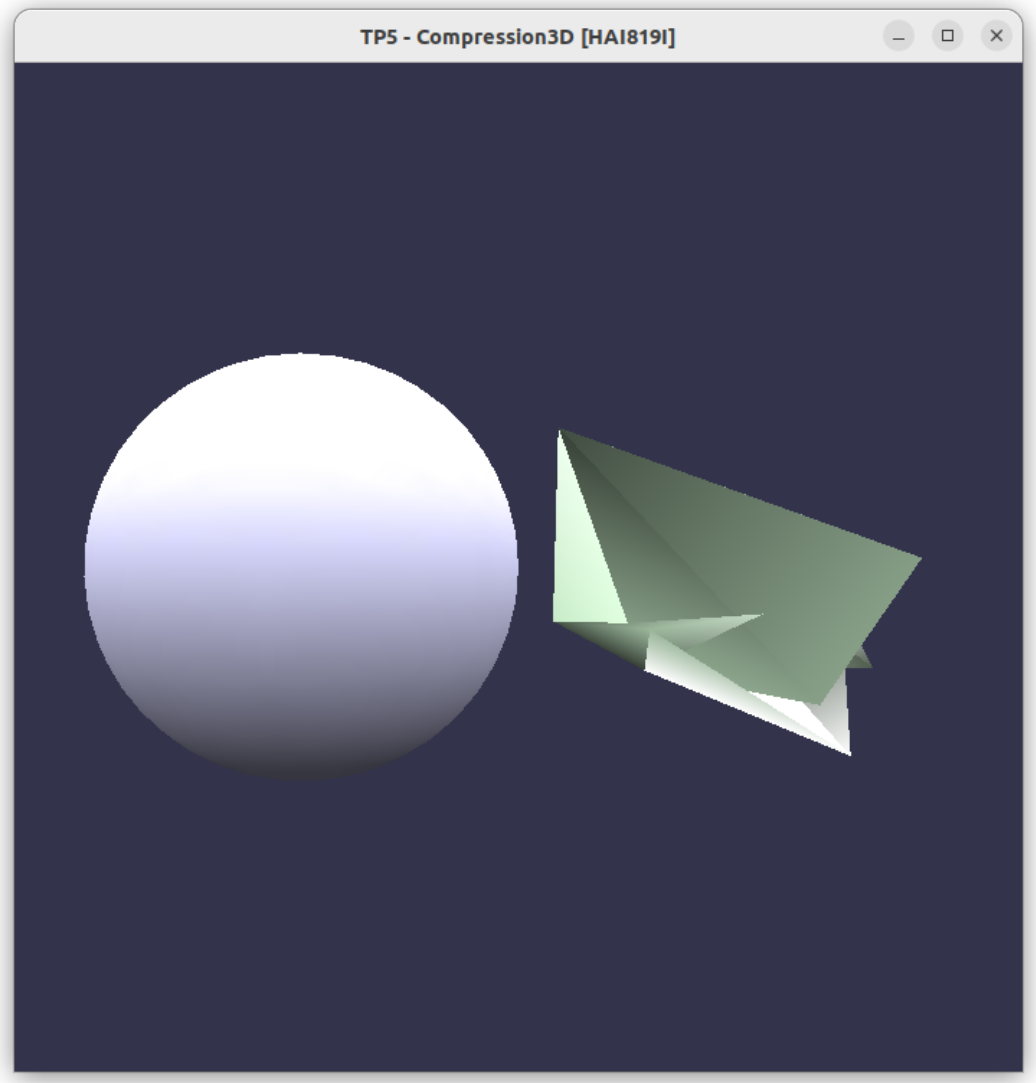


Figure 9: Résultat obtenu sur un maillage de sphère

5 Conclusion

Ce travail pratique nous a permis d'explorer en profondeur les techniques avancées de compression de maillages 3D, notamment à travers l'implémentation du codage entropique rANS et l'utilisation de la méthode de quantification Draco. Malgré les défis techniques rencontrés, notamment dans l'implémentation précise du décodage rANS, ce TP a été une occasion précieuse d'apprendre et d'appliquer des concepts de compression de données sur des maillages 3D. Je me suis bien amusé car les résultats sont bien visuels, et la base de code agréable.

Merci pour le temps et l'attention que vous avez consacrés à la lecture de ce compte-rendu.