

# Maillage vs nuage de points: analyse comparative

Clara STAVUN, Anatole MARER, Charles FARHAT, Haga RANDRIANALY

February 8, 2022

# Contents

<b>1 Etude comparative Nuages de points et Mesh</b>	<b>2</b>
1.1 introduction . . . . .	2
1.2 Définition et propriétés . . . . .	2
1.3 Méthodes d'acquisition . . . . .	4
1.3.1 Acquisition des nuages de points . . . . .	4
1.3.2 Acquisition maillages 3D . . . . .	5
1.3.3 Méthodes hybrides . . . . .	7
1.3.4 Conclusion . . . . .	10
1.4 Méthodes de stockage . . . . .	10
1.5 Domaines d'applications et utilisation . . . . .	10
1.6 conclusion . . . . .	10
<b>2 Utilisation des deux Représentation dans le cadre de la modélisation des smart cities</b>	<b>11</b>
2.1 Acquisition en nuage de point . . . . .	11
2.2 Passage de nuage de point à mesh . . . . .	11
2.3 Enrichissement et utilisation des cartes 3D obtenues . . . . .	11

# Chapter 1

## Etude comparative Nuages de points et Mesh

### 1.1 introduction

### 1.2 Définition et propriétés

- Il convient dans un premier temps de définir ce qu'est un nuage de points et ce qu'est un mesh ou objet 3D. Nous allons voir dès la définition que ces deux objets sont très différents et ne peuvent être considérés de la même façon. Ce qui va nous mener à une étude comparative de ces deux moyens de représentation du monde 3D.

#### Nuages de points

- Nous allons dans cette partie nous attarder sur la définition des nuages de points. Dans sa représentation la plus basique un nuage de point est un type de données très simple : dans la plupart des cas un nuage de point n'est qu'une liste de point représentés par leur coordonnées 3D (une liste de coordonnées 3D).

On peut donc représenter un nuage de point comme l'ensemble :

$$P = \{x_i \in \mathbb{R}^3\}_{i < N}$$

Une représentation possible dans l'espace 3D :

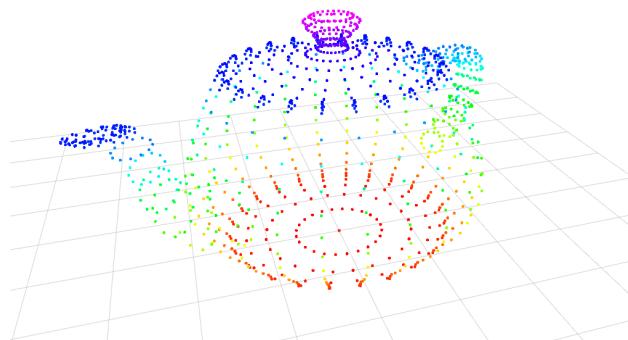


Figure 1.1: représentation d'un nuage de point dans l'espace

Dans notre cas ici  $P$  est un ensemble de points qui n'ont aucun lien logique. En effet on considère l'ensemble des points comme non ordonné. Mais notre vision actuelle est limité par rapport à ce qui est possible de faire avec un nuage de points. En effet rien ne nous empêche d'ajouter en plus des informations spatiale (les coordonnées) d'autres informations, tel que la couleur des points ou encore la direction de la normale associée (très utile pour le passage de nuages de points vers mesh 3D par la méthode de reconstruction de poisson que nous verrons plus tard). Dans ce cas le nuage de point obtenu est dit augmenté et on peut le représenter comme l'ensemble :

$$P_F = \{(x_i, f_i) | x_i \in \mathbb{R}^3, f_i \in \mathbb{R}^D\}_{i < N}$$

Où  $D$  est la dimension des informations liées à un point. On utilise très souvent des nuages de points colorés (avec une information de dimension 3 : RGB) :



Figure 1.2: Nuage de point coloré

En récapitulatif :

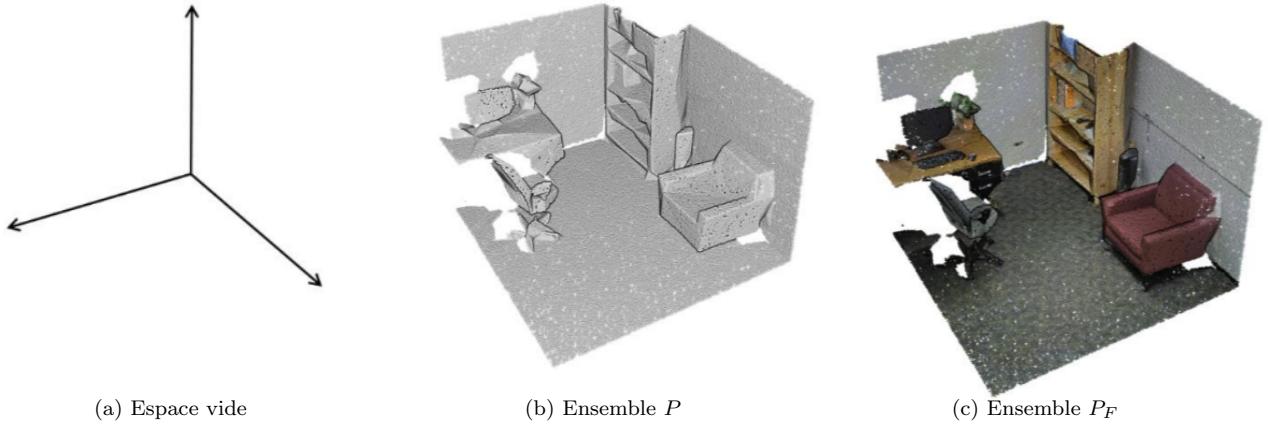


Figure 1.3

les nuages de points obtenus sont donc une représentation discrète et non ordonnée dans l'espace.

### Maillages 3D

- Nous allons maintenant nous attarder sur la définition des maillages 3D ou mesh 3D. Un mesh 3D, de par sa plus grande complexité par rapport aux nuages de points, peut être défini de plusieurs façons. Nous allons ici nous attarder sur sa version la plus classique.

- Un modèle 3D représente une collection de points (appelés vertex) dans l'espace connecté par des liens géométriques. On peut par exemple citer les liens sous forme de triangles, lignes ou surfaces. Ce type de représentation permet donc à l'inverse des nuages de points d'avoir un ensemble de points ordonnés et donc liés les uns avec les autres pour former une forme géométrique. Il est alors possible d'en extraire des informations plus riche que les nuages de points. On peut par exemple obtenir la surface du modèle ou encore son orientation.

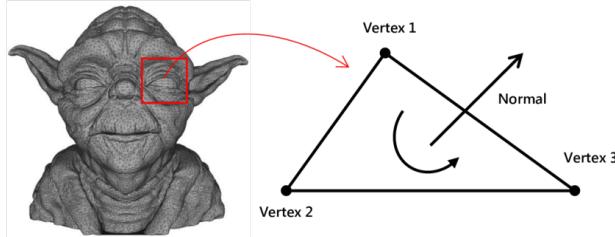


Figure 1.4: Exemple de mesh 3D

On ne pas donner de définition mathématique des modèles 3D (possible mais sort du contexte de ce rapport). En effet pour avoir une définition exacte il faut préciser le cadre : mesh structuré, structuré par blocs ou non structuré. Nous nous contenteront donc ici d'une approche plus générale.

Les nuages de points peuvent être vu comme une vision discrète non ordonnée du monde 3D alors que les modèles 3D nous donne une vision continue ordonnée, plus riche.

## 1.3 Méthodes d'acquisition

Il est maintenant question d'étudier les différentes façons dont il est possible d'obtenir une représentation 3D du monde réel sous forme de nuages de points ou de mesh 3D. Nous allons pour faire présenter 3 catégories de méthodes différentes. Une première catégorie qui permet l'acquisition de nuages de points (scanner laser), une seconde catégorie permettant d'obtenir des volumes 3D sous forme de mesh (caméra avec vision de profondeur, IRM...) et finalement des méthodes dites hybrides qui permettent l'obtention de mesh et de nuages de points (photogrammétrie, stéréographie...).

Il est important de noter que l'obtention de mesh 3D est très difficile car demande lecture continue de l'espace 3D, cela est souvent uniquement possible en espace restreint et limité en temps. De l'autre côté l'obtention de nuages de points est beaucoup plus simple et permet une reconstruction du mesh 3D. C'est souvent la méthode que l'on utilise. Beaucoup plus simple à mettre en place.

### 1.3.1 Acquisition des nuages de points

#### Principe

- La méthode d'acquisition la plus représentative lorsque l'on parle de nuages de points et la plus répandue aujourd'hui est celle dite des scanners laser. Dans ce cadre les LiDAR (Light Detection And Ranging) sont les capteurs les plus privilégiés. Bien que les LiDAR peuvent être fondés sur différentes technologies, le principe reste identique : il s'agit d'un "Radar électromagnétique", un émetteur qui émet une pulsation électromagnétique qui se réfléchit sur un sujet pour ensuite être captée par un récepteur. La durée entre l'émission et la réception de l'impulsion permet de déterminer la distance à l'objet.

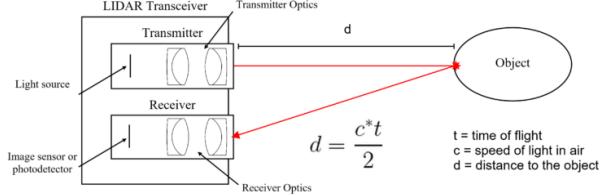


Figure 1.5: Schéma de fonctionnement d'un LiDAR

Cette méthode permet alors d'obtenir des nuages de points de très grande qualité, ci-dessous quelques exemples :

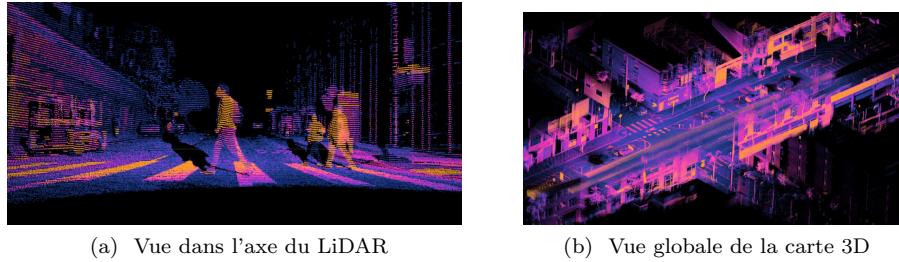


Figure 1.6: Nuages de points obtenus d'un LiDAR Ouster OS1-128

Nous verrons dans la suite comment ces nuages de points peuvent être traités pour permettre la génération de maillage 3D. La même méthode peut être appliquer ici pour permettre l'obtention de maillage 3D à partir des données LiDAR.

### capteurs

Le LiDAR nécessite des équipements spécifiques et coûteux. Cependant, leur coût de production diminue avec la démocratisation de la technologie (introduction de scanner LiDAR dans plusieurs flagship smartphones).



Figure 1.7: Gamme de capteur LiDAR Ouster

### 1.3.2 Acquisition maillages 3D

#### Principe

- En pratique l'acquisition des maillages 3D est beaucoup plus complexe que celle des nuages de points. En effet les maillages 3D comportent une information continue et précise de la géométrie 3D, une représentation

exacte de la surface du modèle. Or être capable de précisément déterminer le volume et la surface de l'environnement réel demande des technologies très complexes. On peut néanmoins citer certaines de ces technologies et leurs limitations. On a notamment les scanners IRM qui permettent d'obtenir une information volumétrique (à partir de plusieurs tranches misent bout à bout et interpolés) mais ne sont opérationnel que sur de petits volumes.

D'autre part avec l'apparition de méthodes plus modernes, qui utilisent l'intelligence artificielle on peut aujourd'hui reconstruire un modèle 3D à partir d'une simple information 2D. Nous allons nous attarder ici à l'état de l'art actuel, pifuhd développé par facebook research lab [6]. La solution proposée permet de générer un mesh 3D à partir d'une image 2D d'une personne.



Figure 1.8: Etapes de génération de pifuhd

Le logiciel utilise une méthode d'optimisation implicite à partir d'une analyse de l'image 2D à plusieurs niveaux (Multi-Level Pixel-Aligned Implicit Function optimization). On peut se représenter cette méthode comme une méthode des templates. En effet tout est ici, comme ci nous partions d'un modèle 3D universel représentant une personne et on va le déformer pour qu'il corresponde aux proportions de l'image.

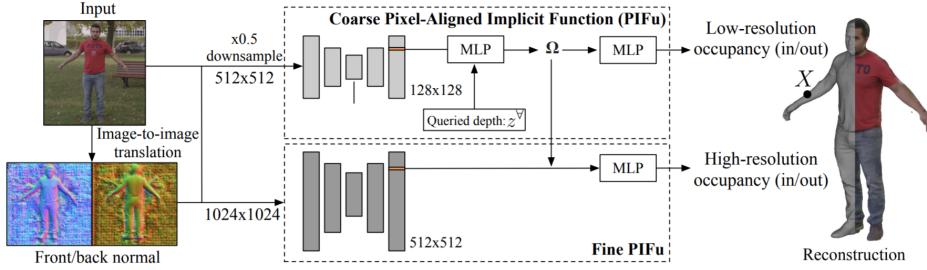


Figure 1.9: Fonctionnement interne de pifuhd

Ces méthodes de génération de modèles 3D à partir d'une information de dimension inférieure (ie. image 2D) est voué à être de plus en plus utilisé, en effet elle permet l'obtention d'un modèle 3D de meilleure qualité et avec une complexité moindre qu'en passant par la génération d'un nuage de point. Ce genre de méthode, bien qu'ici réduite à la simple modélisation de personnes, a été aussi étendue à d'autres domaines, comme l'imagerie médicale ou la génération de surfaces topographiques (DSM : Digital elevation terrains)[8].

### 1.3.3 Méthodes hybrides

- Pour le moment nous avons vu comment obtenir des nuages de points et des maillages 3D directement et indépendamment l'un de l'autre. Mais dans la pratique il n'est pas rare de passer par des méthodes hybrides où l'on génère en premier lieu un nuage de points, puis c'est à partir de ce nuage de points que l'on génère le maillage 3D avec différentes méthodes de reconstruction. Il existe deux méthodes très largement utilisées :

#### Photogrammétrie

La photogrammétrie consiste à utiliser des collections de prises de vue 2D d'un sujet pour en recréer une représentation tridimensionnelle. La photogrammétrie se fait en trois grandes étapes. Il faut d'abord positionner les photos prises dans l'espace afin d'obtenir la position et orientation du capteur lors de la prise, on appelle cette étape bundle adjustment. Puis vient l'étape de projection d'un ensemble de points (appelé features) dans l'espace. C'est avec cet ensemble de points projetés que l'on peut finalement densifier le nuage de points ainsi obtenu. Ces méthodes sont appelées sfm (structure from motion) [7] [4] :

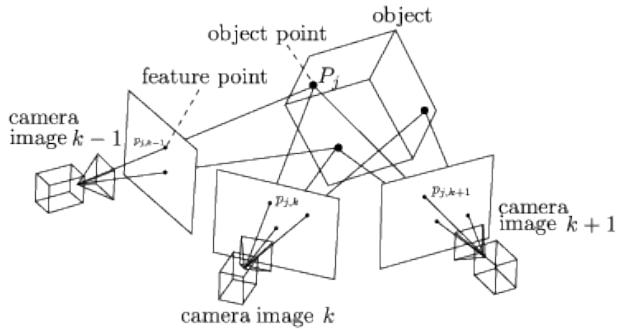


Figure 1.10: Structure From Motion

On peut alors obtenir sous forme d'un nuage de points dense la représentation de l'environnement :



Figure 1.11: Nuage de point reconstruit à partir des images

Il est alors possible à partir de ce nuage de points d'obtenir un maillage 3D. Il existe plusieurs méthodes permettant cela. La plus connue est celle dite de reconstruction de poisson [3], mais elle demande la connaissance des normales associées à chaque point (ce qui rajoute une étape de calcul). Nous allons donc ici présenter une méthode plus générale : Advancing Front Surface Reconstruction [1]. En effet cette méthode avec un peu de pré traitement et de post traitement permet l'obtention d'un maillage 3D de très bonne qualité à partir d'un nuage de points dense.

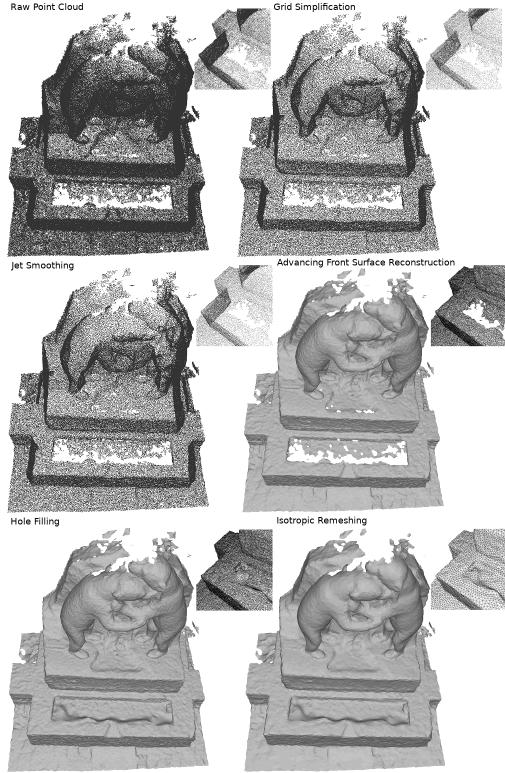


Figure 1.12: Exemple de reconstruction utilisant cette méthode à l'aide de CGAL

### Depth map

Finalement nous pouvons présenter les cameras à profondeur de champ (depth cameras). Elle ne permettent pas directement d'obtenir un mesh 3D, mais elle fournissent une surface pouvant être utilisé pour la reconstruction du mesh 3D. Similaire à la photogrammétrie, elles sont constitué de deux cameras qui permettent d'obtenir une vision stéréo, on peut alors extraire une information de profondeur sous forme de nuage de point puis d'image 2D associant à chaque pixel ça profondeur relative par rapport au capteur qui peut être utilisé par la suite pour générer un mesh 3D de la surface situé en face de la caméra (Stéréoscopie) [5] .

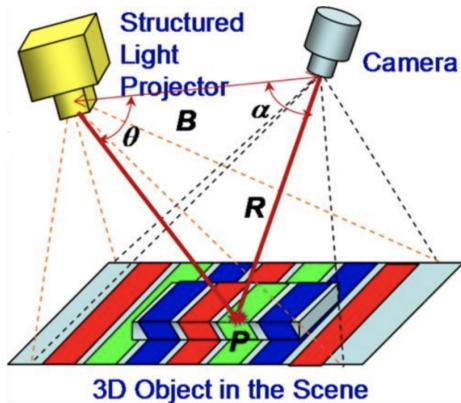


Figure 1.13: Fonctionnement de la Stéréoscopie

On obtient alors une carte de la profondeur vu par la caméra (depth map) :

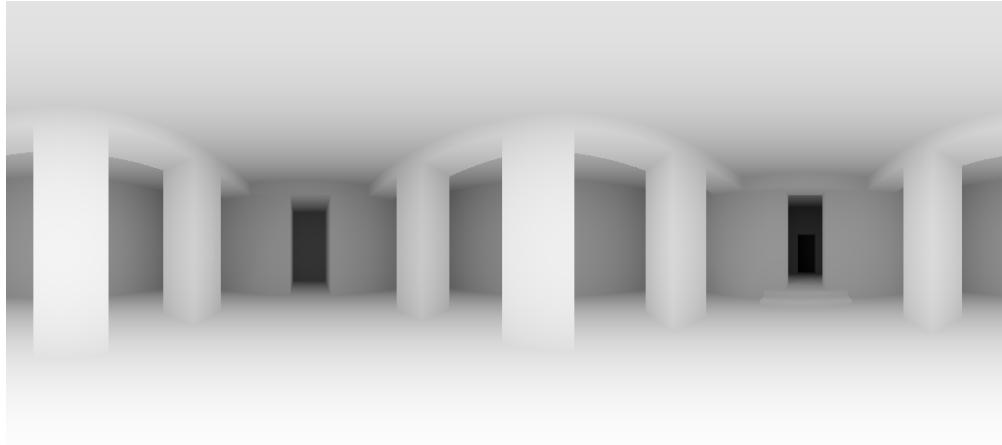


Figure 1.14: image obtenue, noir = loin, blanc = près

Pour obtenir un modèle 3D fermé représentatif, il faut alors se déplacer autour de l'objet pour le scanner. En pratique le processus est plus complexe que cela, il faut utiliser une carte globale et enregistrer chaque image 2.5D (depth map), un framework tel que supereight [2]. On récupère alors l'environnement sous forme de mesh 3D :

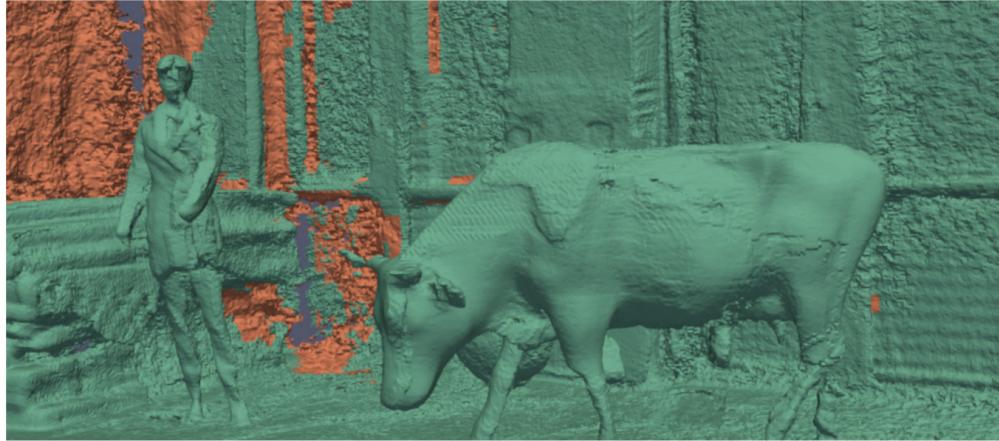


Figure 1.15: Modèle 3D de l'environnement obtenu

#### 1.3.4 Conclusion

précision

- Le LiDAR permet une très grande précision qui peut même être amélioré avec l'utilisation et la modulation des longueurs d'ondes. Cependant, cette précision est étroitement liée à la nature de l'objet. En effet, les objets foncés réfléchissant moins les ondes électromagnétiques, les niveaux de bruits sont plus élevés. De la même manière, en fonction de la longueur d'onde, les sujets transparents ou à effet miroirs rendent donc la modélisation pratiquement impossible. Dans le cas de la photogrammétrie, la précision est encore plus susceptible de varier. En effet, en fonction du type d'utilisation (de la photographie aérienne aux sujets d'échelle humaine) la résolution varie. En effet, comme cette méthode repose sur l'analyse de photographies, l'algorithme de traitement ainsi que la qualité des photos influencent grandement le résultat final. De plus, on retrouve les mêmes problèmes qu'avec le LiDAR c'est-à-dire avec les faibles contrastes et objets transparents.

### 1.4 Méthodes de stockage

### 1.5 Domaines d'applications et utilisation

- Les mesh permettent donc un rendu surfacique sur laquelle s'applique une texture alors que les nuages de points sont une liste de points finie et non ordonnée. En pratique, les nuages de points sont utilisés principalement dans la reconnaissance 3D d'objets, par exemple dans le cadre des systèmes embarqués ou de la robotique. Bien que les nuages de points peuvent être utilisés, on utilise généralement les maillages de points pour créer des modèles CAO 3D de pièces mécaniques, pour les modèles météorologiques ou dans le contrôle de qualité. Les mesh sont particulièrement utilisés grâce à leurs caractères surfaciques pour les applications de visualisation, d'animation, de rendu et de personnalisation de masse.

### 1.6 conclusion

- Ne pas oublier de parler du coût de chaque méthode

## Chapter 2

# Utilisation des deux Représentation dans le cadre de la modélisation des smarts cities

2.1 Acquisition en nuage de point

2.2 Passage de nuage de point à mesh

2.3 Enrichissement et utilisation des cartes 3D obtenues

# Bibliography

- [1] David Cohen-Steiner and Frank Da. A Greedy Delaunay Based Surface Reconstruction Algorithm. Technical Report RR-4564, INRIA, September 2002.
- [2] Nils Funk, Juan Tarrio, Sotiris Papatheodorou, Marija Popovic, Pablo Alcantarilla, and Stefan Leutenegger. Multi-resolution 3d mapping with explicit free space representation for fast and accurate mobile robot motion planning. *IEEE Robotics and Automation Letters*, PP:1–1, 02 2021.
- [3] Hugues Hoppe. Poisson surface reconstruction and its applications. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Solid and physical modeling*, pages 10–10, 2008.
- [4] Lionel Moisan, Pierre Moulon, and Pascal Monasse. Automatic homographic registration of a pair of images, with a contrario elimination of outliers. *Image Processing On Line*, 2:56–73, 2012.
- [5] Royal Society of London. Philosophical transactions. In *Royal Society of London*, number 128, 1838.
- [6] Shunsuke Saito, Tomas Simon, Jason Saragih, and Hanbyul Joo. Pifuhd: Multi-level pixel-aligned implicit function for high-resolution 3d human digitization. In *CVPR*, 2020.
- [7] S. Ullman. The Interpretation of Structure from Motion. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 203(1153):405–426, January 1979.
- [8] Zhi Zheng, Yimin Luo, Zhang Yanfeng, Jun Wu, and Zhiyong Peng. A cnn-based subpixel level dsm generation approach via single image super-resolution. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 85:765–775, 10 2019.