

# An Article Title That Spans Multiple Lines to Show Line Wrapping

John Smith<sup>1,2</sup>, Robert Smith<sup>3</sup> and Jane Smith<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Chemistry, The University of Michigan

<sup>2</sup>Physics Department, The University of Wisconsin

<sup>3</sup>Biological Sciences Department, The University of Minnesota

## Abstract

*Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent porttitor arcu luctus, imperdiet urna iaculis, mattis eros. Pellentesque iaculis odio vel nisl ullamcorper, nec faucibus ipsum molestie. Sed dictum nisl non aliquet porttitor. Etiam vulputate arcu dignissim, finibus sem et, viverra nisl. Aenean luctus congue massa, ut laoreet metus ornare in. Nunc fermentum nisi imperdiet lectus tincidunt vestibulum at ac elit. Nulla mattis nisl eu malesuada suscipit. Aliquam arcu turpis, ultrices sed luctus ac, vehicula id metus. Morbi eu feugiat velit, et tempus augue. Proin ac mattis tortor. Donec tincidunt, ante rhoncus luctus semper, arcu lorem lobortis justo, nec convallis ante quam quis lectus. Aenean tincidunt sodales massa, et hendrerit tellus mattis ac. Sed non pretium nibh. Donec cursus maximus luctus. Vivamus lobortis eros et massa porta porttitor.*

## Introduction

2e modification du fichier tex, toujours par Jules.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent porttitor arcu luctus, imperdiet urna iaculis, mattis eros. Pellentesque iaculis odio vel nisl ullamcorper, nec faucibus ipsum molestie. Sed dictum nisl non aliquet porttitor. Etiam vulputate arcu dignissim, finibus sem et, viverra nisl. Aenean luctus congue massa, ut laoreet metus ornare in. Nunc fermentum nisi imperdiet lectus tincidunt vestibulum at ac elit. Nulla mattis nisl eu malesuada suscipit.

Aliquam arcu turpis, ultrices sed luctus ac, vehicula id metus. Morbi eu feugiat velit, et tempus augue. Proin ac mattis tortor. Donec tincidunt, ante rhoncus luctus semper, arcu lorem lobortis justo, nec convallis ante quam quis lectus. Aenean tincidunt sodales massa, et hendrerit tellus mattis ac. Sed non pretium nibh. Donec cursus maximus luctus. Vivamus lobortis eros et massa porta porttitor. Donec laoreet nisl vel risus lacinia elementum non nec lacus. Nullam luctus, nulla volutpat ultricies ultrices, quam massa placerat augue, ut fringilla urna lectus nec nibh. Vestibulum efficitur condimentum orci a semper. Pellentesque ut metus pretium lacus maximus semper.

Fusce varius orci ac magna dapibus porttitor. In tempor leo a neque bibendum sollicitudin. Nulla pretium fermentum nisi, eget sodales magna facilisis eu. Praesent aliquet nulla ut bibendum lacinia. Donec vel mauris vulputate, commodo ligula ut, egestas orci. Suspendisse commodo odio sed hendrerit

lobortis. Donec finibus eros erat, vel ornare enim mattis et. Donec finibus dolor quis dolor tempus consequat. Mauris fringilla dui id libero egestas, ut mattis neque ornare. Ut condimentum urna pharetra ipsum consequat, eu interdum elit cursus. Vivamus scelerisque tortor et nunc ultricies, id tincidunt libero pharetra. Aliquam eu imperdiet leo. Morbi a massa volutpat velit condimentum convallis et facilisis dolor.

$$\cos^3 \theta = \frac{1}{4} \cos \theta + \frac{3}{4} \cos 3\theta \quad (1)$$

Automatically referencing an equation number using its label: Equation 1.

In hac habitasse platea dictumst. Curabitur mattis elit sit amet justo luctus vestibulum. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque lobortis justo enim, a condimentum massa tempor eu. Ut quis nulla a quam pretium eleifend nec eu nisl. Nam cursus porttitor eros, sed luctus ligula convallis quis. Nam convallis, ligula in auctor euismod, ligula mauris fringilla tellus, et egestas mauris odio eget diam. Praesent sodales in ipsum eu dictum. Aenean vel enim ipsum. Fusce ut felis at eros sagittis bibendum mollis lobortis libero.

Maecenas consectetur metus at tellus finibus condimentum. Proin arcu lectus, ultrices non tincidunt et, tincidunt ut quam. Integer luctus posuere est, non maximus ante dignissim quis. Nunc a cursus erat. Curabitur suscipit nibh in tincidunt sagittis. Nam malesuada vestibulum quam id gravida. Proin ut dapibus velit. Vestibulum eget quam quis ipsum semper convallis. Duis consectetur nibh ac diam dignissim, id condimentum enim dictum. Nam aliquet ligula eu magna pellentesque, nec sagittis leo lobortis.

\*Corresponding author: jane@smith.com

Aenean tincidunt dignissim egestas.

## Méthodologie

### Traitement de l'image

Les images sont transformées en niveau de gris par simple moyenne des 3 canaux de couleur. Parce qu'on se focalise uniquement sur des point appartenant à la chose photographiée, on procède à un agrandissement manuel dessus, minimisant l'arrière-plan. Ensuite un filtre gaussien est appliqué, d'écart-type 1 et pour les images de synthèse uniquement, car les images réelles dont nous disposions étaient selon nous suffisamment précise et peu contrastées, et car nous jugions notre solution sensible au manque de contraste

### Notion de point d'intérêt

Il est certes possible de chercher les matches de façon brute entre l'entièreté des pixels de chaque image, mais c'est insensé sur le point de vue du temps de calcul, et clairement inutile: beaucoup de points réels ne présentent que peu d'intérêt car la surface ie est localement plane.

Il nous faut donc nous poser la question de ce qu'est un bon point d'intérêt, ie un point dont le voisinage topologique varie de façon assez significative pour être reconnaissable malgré un changement de point d'observation.

SIFT se concentre sur la répartition des gradients dans le voisinage, et élimine des points sur des arêtes, jugés trop sensibles au bruit, cette caractérisation des arêtes, ce fait par le calcul de la trace et du déterminant de la hessienne, qui sont fonction des courbures principales.

Nous pensons que ces courbures principales méritent plus d'attention, et pourraient être considérées telles quelles. Dit grossièrement, elles apportent une information à l'ordre 2 sur la surface. Un bon point d'intérêt a selon nous une courbure marquée.

C'est pour cela que nous ne gardons que 30% des pixels de chaque image, de plus grande courbure principale moyenne (en norme).

### Descripteur

Inspiré de SIFT, nous avons cherché pour un pixel donné à en construire un descripteur, ie à encoder dans un vecteur des caractéristiques topologiques de son voisinage, qu'on espère trouver sur les deux images le plus à l'identique possible.

Définissons d'abord des propriétés de robustesse que nous souhaitons pour notre descripteur:

1. Invariance par échelle: pourtant un atout essentiel de SIFT, nous l'avons mise de côté lors de notre développement. La raison est que c'est cette propriété qui complexifie l'algorithme et nous pensons que dans notre cadre experimental, il serait possible de bien calibrer nos paramètres afin de chercher des points d'intérêts de taille fixe, sans perdre en qualité.
2. Invariance par rotation: le robot sous-marin n'est pas parfaitement horizontal lorsqu'il photographie, une même forme n'aura pas la même orientation sur les deux images.
3. Robustesse à la luminosité: la lumière sous-marine peut être très inégale.

Le descripteur repose principalement sur le gradient et les courbures principales. Ces valeurs sont approximées par différences finies symétriques:

INSERER FORMULE

L'orientation du gradient est INSERER FORMULE

Construisons le voisinage autour d'un pixel. En appelant  $\theta$  l'orientation du gradient en le point, le voisinage en question est l'image par une rotation d'angle  $\theta$  d'un carré de  $15 \cdot 15$  pixels, centré en le pixel. Cela permet d'être invariant par rotation des images. Ce voisinage est ensuite découpé en 9 cellules de 25 pixels.

Pour construire le descripteur, en chacune des 9 cellules, on va calculer l'histogramme des gradients des pixels, répartis selon l'écart entre leur orientation et celle du pixel central. La résolution angulaire de l'orientation est  $5^\circ$ . La contribution d'un pixel est son gradient normalisé par celui du pixel central, pondéré par une gaussienne de sa distance au centre, d'écart type la moitié du voisinage, ici 7.5. Les contributions sont ensuite transformées en pourcentage de la somme des contributions dans toutes les cellules.

On calcule de la même façon les histogrammes des courbures principales.

En concaténant les 3 histogrammes, on obtient le descripteur du pixel, vecteur de taille  $360/5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 1944$ .

### Appariement

Bien qu'il existe des méthode analogues aux plus proches voisins adaptées à de la haute dimension, comme la *Best Bin First*, nous ne les avons pas utilisées car nous ne les avons pas recréées nous-mêmes et celles des librairies Python ne pouvaient pas être précompilées en C par Numba.

Nous avons donc dû faire avec l'appariement brut: pour chaque pixel filtré de l'image de gauche, on l'associe à celui de l'image de droite ayant le descripteur le plus similaire, dans le sens où il minimise leur distance euclidienne. Ce choix de distance a

été fait par défaut et nous n'avons pas testé d'autres distances.

Il pourrait être intéressant d'expérimenter avec une norme pondérée, accordant plus d'importance à l'information des gradients plutôt qu'à celle des courbures.

## Postfiltrage

Une fois les paires calculées, nous n'en gardons que 2% du nombre de pixels de l'image, ayant les plus petites distances, ie les paires avec le plus haut taux de confiance. Nous avons choisi ce seuil puisqu'il correspond à un peu plus que notre objectif de 3000 bonnes paires sur nos images réelles, de résolution  $900 \cdot 1400$ . Nous l'avons aussi utilisé sur nos images de synthèses, dont la résolution est pourtant inférieure.

Par commodité, on désignera notre algorithme par *HM*, pour *Home Made*.

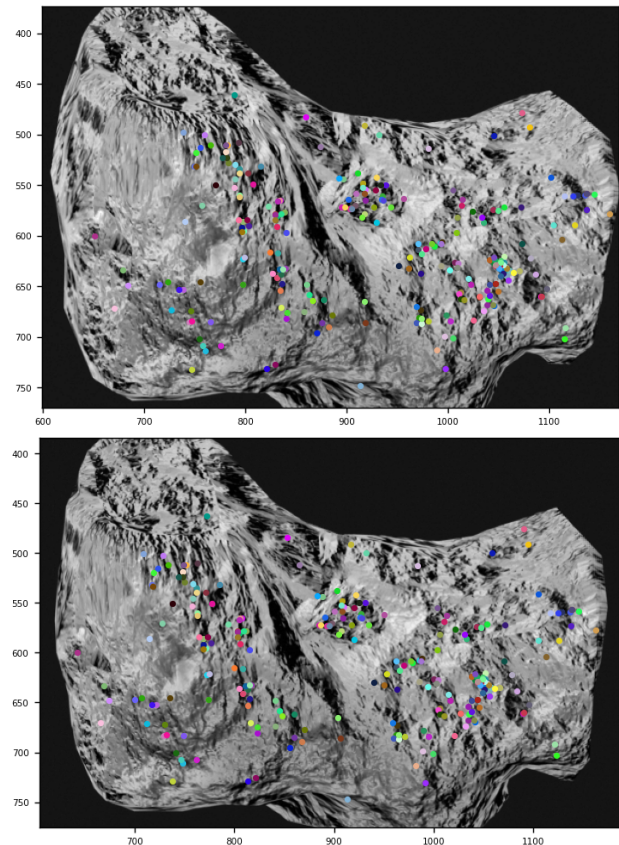
## Résultats

Nous avons comparé *HM* avec SIFT, paramétré par défaut, ie avec un seuil de contraste de 0.04, un seuil d'arête de 10, un écart type de gaussienne de 1.6, et un seuil de distance de 0.75. Il aurait été intéressant d'essayer d'optimiser SIFT sur nos images de synthèse.

### Résultats sur image de synthèse

Pour des sous images de synthèses de résolution  $300 \cdot 580$  d'angles entre caméras de  $10^\circ$  et  $7^\circ$  degrés, les résultats sont dans le Tableau 1. Suprénamment, *HM* a d'excellents résultats, puisque la proportion de bonnes paires parmi celles gardées est haute par rapport à celle de SIFT. Il est rassurant d'avoir une distance moyenne des bonnes paires en dessous de celle des mauvaises, de plus l'écart entre les deux moyennes est d'environ 1.22 fois l'écart-type des bonnes paires (pour  $10^\circ$ ). Pour SIFT en comparaison, il est seulement de 0.27 fois. On en conclut que sur ce test, notre descripteur a été plus discriminant que SIFT.

Quand on regarde les résultats pour  $10^\circ$  avant d'avoir fait le postfiltrage, donc avant de ne garder que l'équivalent des 2% des pixels de l'image, on voit que *HM* renvoie comme attendu un grand nombre de paires, et la bonne nouvelle est que parmi elles se trouvent relativement beaucoup de bonnes paires: 24.58%. A contrario, SIFT a la vertu d'être très parcimonieux et précis avec 931 paires dont 65.8% de bonnes. Cependant, le reproche qu'on peut faire à SIFT est de ne pas renvoyer assez de bonnes paires,



**Figure 1:** 250 paires tirées aléatoirement parmi celles proposées par *HM*.

bien que le pourcentage de bonnes paires parmi le nombre de pixels de la sous-image est de 0.31%, supérieur à notre objectif de 0.24% correspondant à 3000 points dans une image  $900 \cdot 1400$ . Ainsi, SIFT valide dans notre cas nos attentes, mais de peu, là où *HM* peut potentiellement détecter bien plus de bons points.

On peut voir sur la Figure 1 des paires proposées par *HM*. Un effet du préfiltrage par la courbure principale moyenne est que *HM* ne renvoie pas de paires dans les zones peu contrastées, là où SIFT en trouve plus, voir Figure 2 en Annexes.

### Résultats sur images réelles

Les images réelles dont nous disposons ont comme résolution  $800 \cdot 1500$  après recadrage. *HM* a fonctionné avec un préfiltrage de 70%, le temps de calcul a été de 4 heures 30 par image et 5 heures 10 pour l'appariement. On voit clairement ici la limite de notre algorithme, peu parcimonieux par nature et implémenté en Python.

Angle entre caméras	10°		7°	
Algorithme (préfiltrage)	HM (60%)	SIFT	HM (70%)	SIFT
Nombre de bonnes paires parmi les 3480 de distance min. oui	2579 (74.11%)	613 (17.61%)	2532 (72.76%)	604 (17.36%)
Statistiques sur les distances des bonnes (B) et mauvaises (M) paires	(B) (M)	(B) (M)	(B) (M)	(B) (M)
Min	10.98 14.11	27.48 33.18	11.97 12.35	15.56 38.74
Max	33.69 44.50	255.22 264.50	32.45 43.46	253.92 251.11
Moyenne	20.82 23.24	111.58 124.36	20.79 23.28	112.42 121.08
Ecart-type	1.99 2.72	49.09 52.81	2.03 2.75	50.70 48.92
Résultats avant postfiltrage (Sélection des 2%)				
Total de paires calculées	69600	931	52200	930
Total de bonnes paires renvoyées (% de paires)	17110 (24.58%)	613 (65.84%)	12647(24.23%)	604 (64.94%)
Temps de calcul (hh:mm:ss) :	00:15:39,	Total < 5s	00:11:48,	Total < 5s
Image 1, Image 2, Appariement	00:15:27,		00:11:37,	
	00:12:05		00:09:24	

**Table 1:** Comparaison des résultats sur deux paires d’images de synthèse de résolution 900 · 1400 de notre algorithme HM par rapport à SIFT réglé par défaut. Les bonnes paires ont été identifiées par notre algorithme Blender.

Discussion

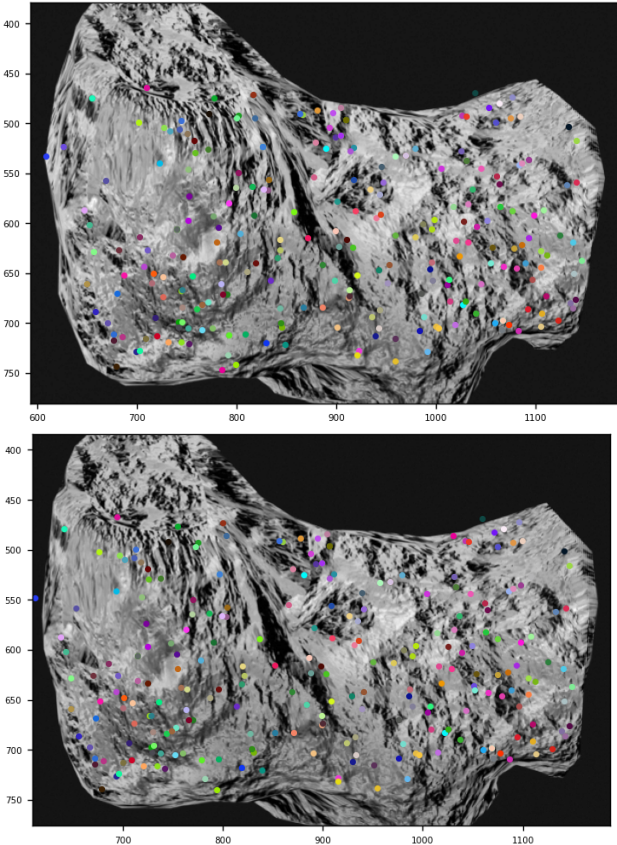
This statement requires citation [1]. This statement requires multiple citations [1, 2]. This statement contains an in-text citation, for directly referring to a citation like so: Jones and Smith [2].

Annexes

References

[1] J. M. Smith and A. B. Jones. *Book Title*. 7th. Publisher, 2023.

[2] A. B. Jones and J. M. Smith. “Article Title”. In: *Journal title* 13.52 (Mar. 2024), pp. 123–456. doi: 10.1038/s41586-021-03616-x.



**Figure 2:** 250 paires tirées aléatoirement parmi celles proposées par SIFT.