INTRODUCTION À LA SENSIBILITÉ AU CONTRASTE

AUTEUR

Thomas Salmon: Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE INCLUT UNE RÉVISION DE:

- Filtration spatiale
- Sensibilité au contraste

RÉVISION

Q. Quelle information est contenue dans le spectre de la fréquence spatiale (transformation Fourier) d'une image?

A. _____

...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	**0.5**	0.0	0.0	**1.0**	0.0	0.0	**0.5**	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figure 14-1: *Tableau de l'information contenue dans le spectre de la fréquence spatiale d'une image avec un échantillon des numéros provenant du centre du tableau des données.*

RÉVISION (SUITE)

Q. Quelle est la contribution des basses fréquences spatiales au niveau d'une image?

A. _____

Q. Quelle est la contribution des hautes fréquences spatiales au niveau d'une image?

A. _____

Q. Qu'est-ce que la filtration spatiale?

A. _____

Q. Quelle serait l'apparence d'une image si les hautes fréquences spatiales étaient filtrées?

A. _____

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.4**	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	**0.5**	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	**0.5**	0.0	1.0	0.0	**0.5**	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	**0.5**	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	**0.4**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

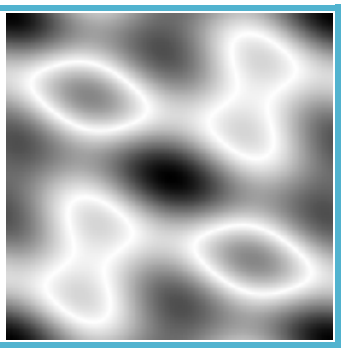

Figure 14-2: *En débutant avec le spectre des fréquences spatiales (valeur au milieu, à gauche), nous pouvons calculer l'inverse de la transformation de Fourier afin de créer l'image à droite.*

Vous pouvez calculer la transformation Fourier pour toutes les images. Celle-ci donne la fréquence spatiale de l'image. Les deux ensembles de données, l'image spatiale et son spectre de fréquence spatiale, sont reliés ensemble par la transformation de Fourier. La figure 14.3 démontre un exemple d'une image spatiale et de son spectre de fréquence spatiale.

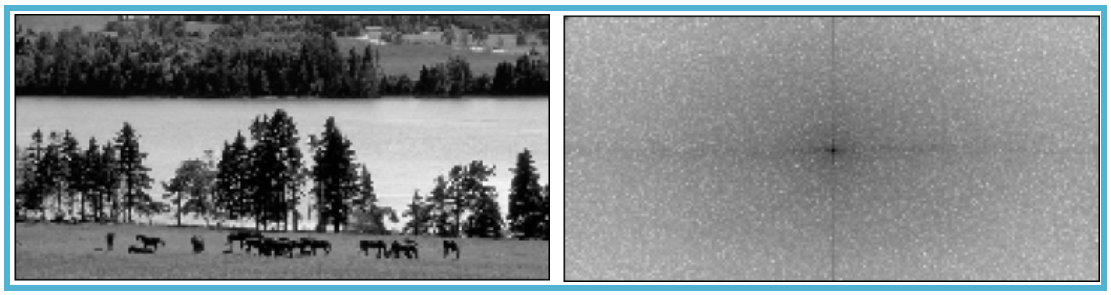

Figure 14-3: *Exemple d'une image spatiale (G) et de son spectre de fréquence spatiale (D)*

RÉVISION (SUITE)

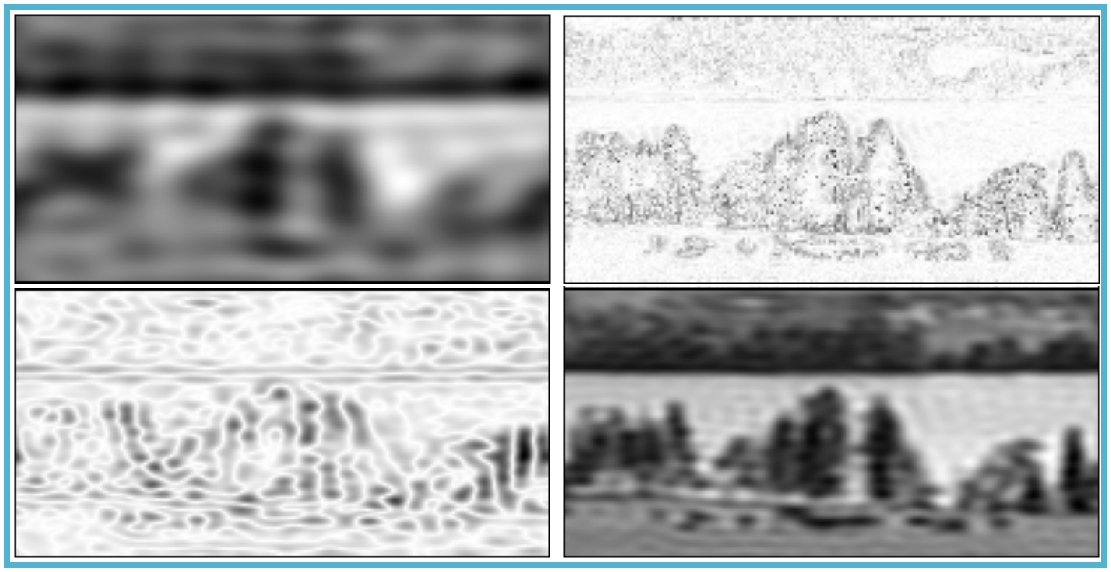

Figure 14-4: *En débutant avec le spectre de fréquence spatiale (valeur au milieu, démontré à gauche), nous pouvons calculer l'inverse de la transformation de Fourier afin de créer l'image à droite*

La figure 14.4 montre quatre images qui ont subi une filtration spatiale de la figure 14.3.

Q. Pouvez-vous identifier le type de filtrage effectué dans chaque figure?

FILTRATION SPATIALE

Une application de la transformation de Fourier ainsi que de la filtration spatiale est illustrée dans la Figure 14.5. L'image à gauche démontre une image de type Shack-Hartmann. Un aberromètre Shack-Hartmann émet un faisceau de lumière dans l'œil et mesure par la suite la lumière réfléchie. Le faisceau de lumière réfléchi de l'œil passe à travers plusieurs lentilles positives microscopiques qui décomposent le faisceau en plusieurs faisceaux plus petits. La lumière de chaque faisceau est concentrée en un point, donc l'image a l'apparence d'un réseau circulaire de points sur un fond noir. Afin de calculer les aberrations optiques de l'œil, nous devons analyser la position de chaque point. L'analyse requiert donc la localisation et la position de chaque point, mais quelques-uns, en particulier ceux qui sont près du bord, sont plus pâles et donc sont plus difficiles à percevoir.

Q. Pourquoi les points situés près du bord de la pupille ont-ils l'air plus pâles?

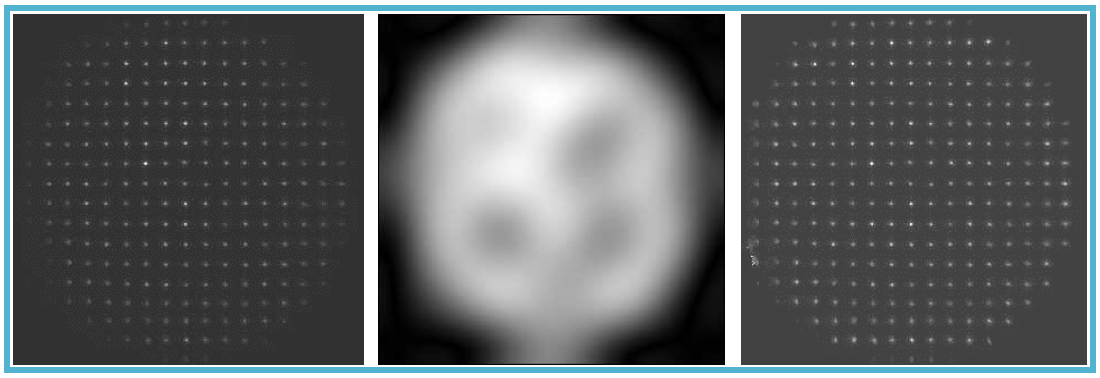

Figure 14-5: *Données brutes (à gauche) étaient divisées par un filtre (milieu) afin d'égaliser la luminosité des points. Le résultat (droite) démontre des points avec une luminosité plus uniforme*

Afin d'améliorer l'analyse Shack-Hartmann à travers la pupille au complet, les points en périphérie doivent avoir une luminosité augmentée.

Pour ce faire, les étapes suivantes ont été suivies:

- Fourier a analysé l'image contenant les données brutes (image à gauche, Fig. 14-5)
- Le spectre a été filtré (omission de tout à l'exception des basses fréquences spatiales)
- Calcul de l'inverse de la transformation de Fourier. Ceci a donné la variation globale et graduelle de la luminosité de l'image, causant une diminution de la luminosité de certains points par rapport à d'autres
- Les valeurs de l'image originale (gauche) ont été divisées par l'image filtrée (milieu) afin de produire l'image corrigée (droite). Notez que la luminosité des points est plus uniforme. Ceci a simplifié l'analyse de la localisation des points dans la périphérie de la pupille.

SENSIBILITÉ AU CONTRASTE

L'image rétinienne est produite par le système optique de l'œil (cornée et cristallin), mais représente juste la première partie du processus visuel. De la rétine au cerveau, l'image rétinienne est transformée en signaux électriques qui sont traités neurologiquement. Notez que la vision dépend de deux processus:

- Imagerie optique
- Traitement neurologique de l'image

SENSIBILITÉ AU CONTRASTE (SUITE)

La fonction de transfert de modulation (FTM) caractérise la première partie du système visuel - la partie optique.

Décrivez la FTM.
A. _____

Q. Décrivez l'apparence de la FTM.
A. _____

Lorsque nous examinons la vision d'une personne subjectivement, nous examinons le résultat de l'imagerie optique ainsi que le traitement neuronal de l'image. La meilleure façon d'évaluer la performance visuelle est de déterminer dans quelle mesure la personne voit des réseaux sinusoïdaux à travers plusieurs fréquences spatiales.

Ceci peut être examiné de la façon suivante:

- Sélectionner une fréquence spatiale, par exemple, 1 cycle par degré (cpd)
- Varier le contraste afin de déterminer le **seuil de contraste** où le sujet peut à peine voir les rayures. Le contraste Michelson est utilisé, alors le seuil de contraste aura une valeur entre 1 et 0

  Calculer l'inverse du seuil de contraste afin de déterminer la **sensibilité au contraste**. Lorsque le seuil est bas, la sensibilité est grande. Ceci indique que, pour la fréquence spatiale utilisée, la vision de la personne est bonne, car la personne voit les rayures même à un faible contraste
- Répéter pour d'autres fréquences spatiales. La fréquence seuil pour un œil humain normal est habituellement autour de 40-60 cpd
- La sensibilité (l'axe y) en fonction de la fréquence spatiale (l'axe x). Ceci représente la **fonction de sensibilité au contraste (FSC)**

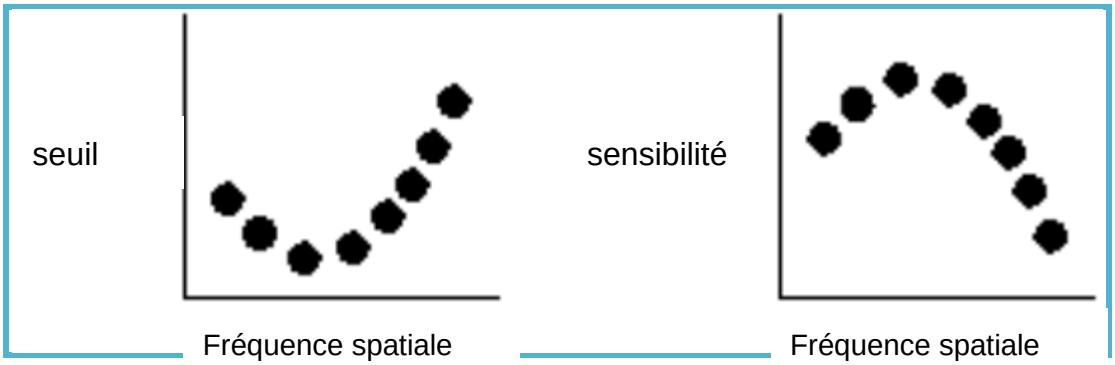

Figure 14-6: *La FSC est déterminée en mesurant le seuil de contraste en fonction de la fréquence spatiale, puis en calculant l'inverse de ceux-ci.*

Quoiqu'il y ait des similarités entre la FTM et la FSC, il y a plusieurs différences importantes:

- La FTM décrit la performance optique; la FSC inclut l'effet combiné de l'optique et du traitement neuronal pour le système visuel au complet. C'est à dire que la FTM décrit l'optique alors que la FSC décrit la vision.
- La FTM peut être utilisée afin de décrire n'importe quel système optique; par exemple, la FTM d'une lentille de caméra. La FSC est utilisée pour le système visuel.
- La FTM décrit le succès qu'un système optique a à transférer le contraste, ou le contraste d'une image, à des fréquences spatiales différentes. La FSC démontre le succès qu'a le système visuel à voir le contraste à des fréquences spatiales différentes.

SENSIBILITÉ AU CONTRASTE (SUITE)

CARACTÉRISTIQUES DE LA FSC HUMAINE

Schwartz, 2004 Fig. 7-8 démontre une fsc humaine typique. Notez que celle-ci est tracée sur des axes log-log. Notez également les étiquettes des axes. Une fonction de sensibilité au contraste normale a les caractéristiques suivantes:

- Une diminution mineure de la sensibilité aux fréquences spatiales les plus basses. Notez que ceci est différent de la FTM
- Sensibilité maximale à environ 4 cpd
- Une diminution à zéro à des hautes fréquences spatiales. La fréquence où on retrouve cette diminution à zéro est la plus haute fréquence spatiale que l'œil peut résoudre. Ceci est connu comme étant la fréquence seuil ou la résolution spatiale limite.
- Pour une personne ayant une bonne vision, le seuil de la haute fréquence est environ 40-60 cpd

Comme pour la FTM, il y a des avantages à utiliser des réseaux sinusoïdaux afin de mesurer la sensibilité au contraste. Par contre, nous pouvons également mesurer la sensibilité au contraste en utilisant des réseaux de type carré ou des lettres. Pour ce faire, il faut sélectionner un réseau (ou une lettre) d'une grandeur (une fréquence spatiale) et varier le contraste afin de déterminer le seuil. Mesurer le seuil de contraste avec des patrons ayant des grandeurs différentes; par exemple, des grandes rayures et des fines rayures ou des grandes lettres ou des petites lettres. L'inverse du seuil de contraste est la sensibilité au contraste. Le fait de tracer la sensibilité en fonction de la fréquence spatiale donne la FSC (Fig.14-6).

Un avantage d'utiliser un réseau sinusoïdal lors de la mesure de la sensibilité au contraste est qu'il contient une seule fréquence spatiale.

Si des réseaux de type carré ou si des lettres sont utilisés afin de mesurer la sensibilité au contraste, la cible contiendra de multiples fréquences spatiales (Fig.14-7). La figure 7-5 dans Schwartz illustre les composantes de la fréquence spatiale d'un réseau de type carré et démontre que ce réseau est constitué de plusieurs fréquences spatiales: une **fréquence fondamentale** et des plus hautes harmoniques qui sont des multiples impairs (3, 5, 7, ...) de la fréquence fondamentale.

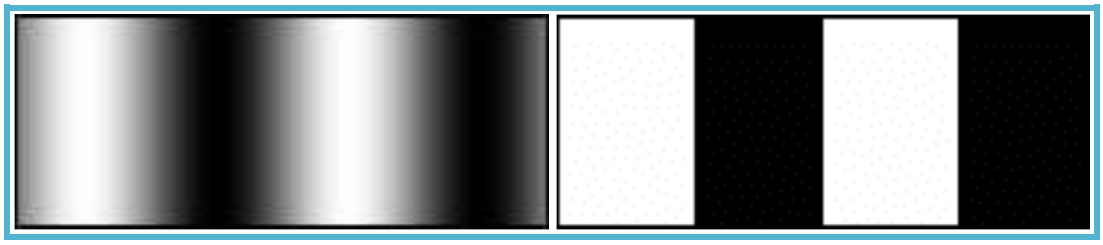

Figure 14-7: *Deux types de patrons de réseaux; les deux contiennent deux cycles. Le patron à gauche est constitué d'un réseau sinusoïdal vertical. Le patron à droite est basé sur une fonction de type carrée.*

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004